



PROYEK AKHIR TERAPAN - RC146599

**PERBANDINGAN PERHITUNGAN STRUKTUR
BANGUNAN GEDUNG HOTEL SALA VIEW
YANG BERPEDOMAN PADA SNI 1726 - 2002
DAN SNI 1726 - 2012**

MUCHAMAD CHADAFFI
NRP. 3115 040 614

Dosen Pembimbing
NUR ACHMAD HUSIN, ST., MT.
NIP. 19720115 199802 1 001

PROGRAM DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL LANJUT JENJANG
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



PROYEK AKHIR TERAPAN - RC146599

**PERBANDINGAN PERHITUNGAN STRUKTUR
BANGUNAN GEDUNG HOTEL SALA VIEW
YANG BERPEDOMAN PADA SNI 1726 - 2002
DAN SNI 1726 - 2012**

**MUCHAMAD CHADAFFI
NRP. 3115 040 614**

**Dosen Pembimbing
NUR ACHMAD HUSIN, ST., MT.
NIP. 19720115 199802 1 001**

**PROGRAM DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL LANJUT JENJANG
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT APPLIED - RC146599

**THE COMPARISON OF SALA VIEW HOTEL
BUILDING'S STRUCTURE CALCULATIONS
BASED ON SNI 1726-2002 AND SNI 1726-
2012**

**MUCHAMAD CHADAFFI
NRP. 3115 040 614**

**Consellor Lecture
NUR ACHMAD HUSIN, ST., MT.
NIP. 19720115 199802 1 001**

**DIPLOMA IV PROGRAM of CIVIL ENGINEERING EXTENSION
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

PERBANDINGAN PERHITUNGAN STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG HOTEL SALA VIEW YANG BERPEDOMAN PADA SNI 1726 - 2002 DAN SNI 1726 - 2012

PROYEK AKHIR TERAPAN

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Terapan
Pada
Program Diploma IV Teknik Sipil Lanjut Jenjang
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :



MUCHAMAD CHADAFFI
NRP. 3115 040 614

Disetujui oleh

Dosen Pembimbing Proyek Akhir



NUR ACHMAD HUSIN, ST., MT.

NIP. 19720115 199802 1 001

23 JAN 2017

SURABAYA, JANUARI 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BERITA ACARA
TUGAS AKHIR TERAPAN
PROGRAM LANJUT JENJANG DIPLOMA IV
TEKNIK SIPIL FTSP - ITS

No. Agenda :
080073/IT2.3.1.1.1/PP.05.01/2016

Tanggal : 11 Januari 2017

Judul Seminar Proposal Tugas Akhir Terapan	Perbandingan Perhitungan Struktur Bangunan Gedung Sala View yang Berpedoman pada SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012		
Nama Mahasiswa	Muchamad Chadaffi	NRP	3115040614
Dosen Pembimbing 1	Nur Achmad Husin, ST., MT NIP 19720115 199802 1 001	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	- NIP -	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
1. Uraian elemen yang dipilih 1 portal melintang dan 1 portal them aung	 Ir. Munarus Suluch, MS NIP 19550408 198203 1 003
2. Keterangan Gambar diperjelas yang mana yang sed detail dan yang mana yang hasil perhitungan	 Ir. Sukobar, MT NIP 19571201 198601 1 002
3. Kesimpulan Kesimpulan poin 1, diperjelas bahwa peningkatan yang terjadi adalah peningkatan akselerasi gempa, bukan grafiknya yang naik. 4. Perbandingan gaya geser ditambahkan berapa g	 Afif Navir Refani, ST., MT NIP 19840919 201504 1 001

PERSETUJUAN HASIL REVISI

Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
 Ir. Munarus Suluch, MS NIP 19550408 198203 1 003	 Ir. Sukobar, MT NIP 19571201 198601 1 002	 Afif Navir Refani, ST., MT NIP 19840919 201504 1 001	- NIP -	 Nur Achmad Husin, ST., MT NIP 19720115 199802 1 001	- NIP -



ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 MUKHAMMAD CHADAFI 2 3115040614
NRP : 1 2
Judul Tugas Akhir : PERBANDINGAN PERHITUNGAN STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG
 SALA VIEW YANG BERPELOMAN PADA SNI 1726-2002 DAN
 SNI 1726-2012
Dosen Pembimbing : NUR ACHMAD HUSIN, ST., MT

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1	20 - Okt - 2016	- Preliminary desain				
		- Denah balok, kolom, dan posisi pondasi				
		- Lingkup struktur yang dimodelkan		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	02 - Nov - 2016	- Beban basement, pit lift, GWT, STB				
		- Beban mati tambahan				
		- Beban hidup		B	C	K
		- Lanjutkan beban gempa		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	10 - Nov - 2016	- Beban gempa				
		- Input beban lift		B	C	K
		- Output gaya geser dasar gempa		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Selanjutnya, kontrol drift, cek SNI & ACI				
4	25 - Nov - 2016	→ Penulangan pelat u/ pengambilan momen		B	C	K
		dipelajari dulu		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		→ Defleksi (story drift)				
		→ Faktor reduksi beton				
		→ faktor kuat lebih dilihat pada femo 4SL		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 PROGRAM STUDI DIPLOMA - JURUSAN TEKNIK SIPIL
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 MUHAMMAD CHADAFI 2
NRP : 1 3115040614 2
Judul Tugas Akhir : PERBANDINGAN PERHITUNGAN STRUKTUR BANGUNAN CEDUNG SALA VIEW
 YANG BERPEDOMAN PADA SNI 1726-2002 DAN 1726-2012

Dosen Pembimbing : Nur Achmad Hucin, ST, MT

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
5.	14 Desember 2016	→ cek diagram perbandingan balok				
		→ cek antara kombinasi gravitasi dan				
		kombinasi gempa		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.	23 Desember 2016	→ Coba dengan luas tulangan minimum				
		pada kolom dengan memasukkan				
		kombinasi gempa 2002 & 2012		B	C	K
		→ Perbaiki keterangan diagram		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		perbandingan.				
7.	28 Desember 2016	→ Revisi dimensi kolom		B	C	K
		→ cek HBK		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		→ Tambah perbandingan terhadap rasio				
8.	3 Januari 2017	→ Harga satuan besi memakai pemkot		B	C	K
		→ Grafik displasemen dibuat pada 2		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		→ paper pada tuguau pustaka diperjelas				
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal

PERBANDINGAN PERHITUNGAN STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG HOTEL SALA VIEW YANG BERPEDOMAN PADA SNI 1726 – 2002 DAN SNI 1726 – 2012

Dosen Pembimbing : Nur Achmad Husin, ST., MT.
NIP. 19720115 199802 1 001

Mahasiswa : Muchamad Chadaffi
NRP. 3115 040 614

Abstrak

Peraturan perencanaan struktur gedung tahan gempa di Indonesia mengalami perkembangan seiring terjadinya gempa besar yang terjadi, dari SNI 1726-2002 direvisi menjadi SNI 1726-2012. Bilamana suatu peraturan gempa terbaru muncul dan diberlakukan, maka hal tersebut mengakibatkan perlunya peninjauan ulang bangunan-bangunan yang sudah berdiri untuk dikaji ulang menggunakan peraturan terbaru. Masalah yang akan ditinjau adalah besar perbedaan gaya gempa yang terjadi antara SNI 1726-2002 dengan SNI 1726-2012, dan bagaimana perilaku struktur bangunan jika dikenakan beban gempa berdasarkan SNI 1726-2002 dengan SNI 1726-2012.

Penelitian ini akan menggunakan bangunan gedung Sala View di Solo untuk mengetahui peningkatan gaya gempa yang terjadi dan kebutuhan tulangan lentur serta tulangan geser berdasarkan SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012. Pemodelan struktur menggunakan program bantu SAP2000 dan membuat dua pemodelan struktur dengan dimensi struktur yang sama namun dengan gaya gempa yang berbeda berdasarkan SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012.

Hasil perbandingan dari respon spektrum untuk nilai Sds bahwa desain berdasarkan SNI 1726-2012 lebih tinggi dibanding SNI 1726-2002. Hal tersebut berdampak pada hasil dari analisa nilai gaya geser dasar (base shear) berdasarkan SNI 1726-2012

meningkat sebesar 18% dibanding SNI 1726-2002. Presentase peningkatan pada elemen balok, gaya dalam meningkat sebesar 22% dan kebutuhan tulangan lentur meningkat sebesar 15,9%. Presentase peningkatan pada elemen kolom, gaya dalam meningkat 33,4% namun dengan luasan tulangan lentur minimum antara SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012 masih memenuhi, maka dapat disimpulkan bahwa dimensi kolom dalam struktur tersebut terlalu besar. Anggaran biaya yang dibutuhkan meningkat rata-rata sebesar 18,38%.

Kata kunci : struktur, gempa, SNI 1726-2002, SNI 1726-2012, pemodelan struktur, gaya dalam, respon spektrum, base shear, tulangan lentur

THE COMPARISON OF SALA VIEW HOTEL BUILDING'S STRUCTURE CALCULATIONS BASED ON SNI 1726-2002 AND SNI 1726-2012

Consellor lecture : Nur Achmad Husin, ST., MT.
NIP. 19720115 199802 1 001
Student : Muchamad Chadaffi
NRP. 3115 040 614

Abstract

The regulation of earthquake resistant building structure planning in Indonesia has developed as the increasing of earthquake frequencies lately, from SNI 1726-2002 is revised to SNI 1726-2012. If the new regulation on earthquake emerged and applied, it will cause re-evaluation upon current buildings with the new regulation. The problem that will be evaluated is the difference of earthquake force happened between SNI 1726-2002 and SNI 1726-2012 and how the building structure behave if being exposed by earthquake force based on SNI 1726-2002 and SNI 1726-2012.

This research will use Sala View building in Solo to observe the increasing of earthquake force and the needs of elastic reinforcement and shear reinforcement based on SNI 1726-2002 and SNI 1726-2012. The structure modelling used SAP2000 program and create two model structure using same structure dimension but different earthquake force based on SNI 1726-2002 and SNI 1726-2012.

The comparison result of spectrum response for Sds value based on SNI 1726-2012 is higher than 1726-2002. It makes the result of base shear force value based on SNI 1726-2012 increases 18% compared to SNI 1726-2002. The increasing percentage on block element, the inner force increases 22% and the needs of elastic reinforcement increases 15,9%. The percentage on column element, the inner force increases 33,4%, however using the minimum width of elastic reinforcement

between SNI 1726-2002 and SNI 1726-2012 is still sufficient, so it can be concluded that the column dimension in that structure is too big. The budget for the required increased by an average of 18,38%.

Keyword: *structure, earthquake, SNI 1726-2002, SNI 1726-2012, structure modelling, inner force, spectrum response, base shear, elastic reinforcement*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Proyek Akhir terapan dengan judul “Perbandingan Perhitungan Struktur Bangunan Gedung Hotel Sala View yang Berpedoman pada SNI 1726 – 2002 DAN SNI 1726 – 2012”.

Tersusunnya proyek akhir terapan ini, tidak terlepas dari dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Untuk itu, disampaikan terima kasih kepada Allah SWT, atas semua anugerah dan pertolongan yang tak terkira. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua, saudara-saudara tercinta, sebagai penyemangat terbesar, dan yang telah banyak memberi dukungan moril maupun materil, serta doanya.
2. Bapak Dr. Machsus ST., MT, selaku Ketua Program Studi Diploma IV Teknik Sipil.
3. Nur Achmad Husin, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan proyek akhir terapan ini.
4. Bapak dan Ibu dosen pengajar di Jurusan Diploma Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
5. Teman-teman terdekat yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terima kasih atas bantuannya dan saran-saran yang telah diberikan selama proses pengerjaan proyek akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan proyek akhir terapan ini masih banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan proyek akhir terapan ini. Semoga dapat bermanfaat bagi penulis serta bagi pembaca dikemudian hari.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Konsep perencanaan bangunan gedung tahan gempa	3
2.2 Wilayah Gempa di Indonesia.....	3
2.3 Periode Alami Struktur.....	5
2.4 Respon Spektrum.....	7
2.5 Koefisien Respon Seismik	10
2.6 Geser Dasar Seismik (V)	11
2.7 Kombinasi Pembebanan	12
2.8 Simpangan antar lantai (Δs).....	13
BAB III METODOLOGI	17
3.1 Metodologi studi perbandingan	17
BAB IV ANALISA dan PEMBAHASAN.....	23
4.1 Deskripsi Umum.....	23
4.2 Perencanaan Dimensi Struktur.....	23
4.2.1 Struktur balok	23
4.2.2 Struktur kolom.....	24
4.3 Pembebanan Struktur.....	25
4.4 Pembebanan Gempa (E)	26

4.4.1	Jenis tanah	26
4.4.2	Respon spektrum berdasarkan SNI 03-1726-2002.....	27
4.4.3	Respon spektrum berdasarkan SNI 1726-2012	28
4.5	Kategori Desain Seismik	31
4.6	Pemodelan	31
4.7	Massa Struktur Gedung	36
4.8	Kontrol Analisis Terhadap Pemodelan Struktur.....	36
4.8.1	Perioda struktur berdasarkan SNI 03-1726-2002.....	36
4.8.2	Perioda struktur berdasarkan SNI 1726-2012	36
4.8.3	Gaya geser dasar nominal gempa (V_{statik}) berdasarkan SNI 1726-2002	37
4.8.4	Gaya geser dasar nominal gempa (V_{statik}) berdasarkan SNI 1726-2012	38
4.8.5	Evaluasi simpangan antar lantai (Δ_s) berdasarkan SNI 1726-2002	40
4.8.6	Evaluasi simpangan antar lantai (Δ_s) berdasarkan SNI 1726-2012	42
4.9	Evaluasi Gaya Dalam Elemen Balok	44
4.10	Evaluasi Gaya Dalam Elemen Kolom.....	50
4.11	Perhitungan tulangan balok berdasarkan output SNI 1726-2002.....	54
4.12	Perhitungan tulangan balok berdasarkan output SNI 1726-2012.....	83
4.13	Perhitungan tulangan Kolom	112
4.14	Biaya pembesian balok berdasarkan SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012	129
BAB V KESIMPULAN dan SARAN		131
5.1	Kesimpulan.....	131
5.2	Saran.....	133
DAFTAR PUSTAKA		135
LEMBAR REVISI		
BIODATA PENULIS		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Wilayah Gempa di Indonesia Dengan Percepatan Puncak Batuan Dasar Dengan Periode 500 Tahun (SNI 1726 tahun 2002).....	4
Gambar 2.2	Peta untuk S_s (Parameter Respons Spektruml Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Resiko-Tertarget (M_{CER}), Periode Ulang Gempa 2500 Tahun.....	4
Gambar 2.3	Peta untuk S_1 (Parameter Respons Spektruml Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Resiko-Tertarget (M_{CER}), Periode Ulang Gempa 2500 Tahun.....	5
Gambar 2.4	Respon Spektrum Wilayah Gempa 3 (SNI 1726 tahun 2002).....	7
Gambar 2.5	Spektrum Respon Desain.....	10
Gambar 3.1	Flow Chart Proses Pengerjaan Studi Secara Garis Besar (1).....	19
Gambar 3.2	Flow Chart Proses Pengerjaan Studi Secara Garis Besar (2).....	20
Gambar 3.3	Flow Chart Proses Pengerjaan Studi Secara Garis Besar (3).....	21
Gambar 4.1	Ilustrasi Notasi Dimensi Balok dan Kolom	24
Gambar 4.2	Spektrum gempa rencana zona wilayah gempa 3 dengan tanah sedang berdasarkan SNI 1726-2002.....	28
Gambar 4.3	Spektrum gempa rencana berdasarkan SNI 1726-2012	30
Gambar 4.4	Spektrum gempa rencana dari puskim.pu.go.id ...	30
Gambar 4.5	Gambar 3D model struktur gedung Sala View	32
Gambar 4.6	Gambar tampak lantai arah x-y.....	33
Gambar 4.7	Gambar tampak potongan x-z.....	34
Gambar 4.8	Gambar tampak potongan y-z.....	35
Gambar 4.9	Gambar diagram perpindahan antar lantai berdasarkan SNI 1726-2002	41

Gambar 4.10	Gambar diagram perpindahan antar lantai berdasarkan SNI 1726-2012	43
Gambar 4.11	Tampak potongan gedung pada grid 3 balok yang ditinjau	44
Gambar 4.12	Diagram momen pada tumpuan kiri antara gravitasi terfaktor, gempa terfaktor 2002 dan 2012.....	46
Gambar 4.13	Diagram momen pada daerah lapangan antara gravitasi terfaktor, gempa terfaktor 2002 dan 2012.....	47
Gambar 4.14	Diagram momen pada tumpuan kanan antara gravitasi terfaktor, gempa terfaktor 2002 dan 2012.....	47
Gambar 4.15	Diagram prosentase momen pada tumpuan kiri antara SNI 1726-2002 dan 2012 terhadap gravitasi terfaktor.....	48
Gambar 4.16	Diagram prosentase momen daerah lapangan kiri antara SNI 1726-2002 dan 2012 terhadap gravitasi terfaktor.....	48
Gambar 4.17	Diagram prosentase momen daerah pada tumpuan kanan antara SNI 1726-2002 dan 2012 terhadap gravitasi terfaktor	48
Gambar 4.18	Diagram prosentase momen daerah tumpuan kiri SNI 1726-2012 terhadap SNI 1726-2002	49
Gambar 4.19	Diagram prosentase momen daerah lapangan SNI 1726-2012 terhadap SNI 1726-2002	49
Gambar 4.20	Diagram prosentase momen daerah tumpuan kanan SNI 1726-2012 terhadap SNI 1726-2002 ..	49
Gambar 4.21	Tampak potongan gedung pada grid-3 kolom yang ditinjau	50
Gambar 4.22	Diagram aksial (Pu) antara akibat gravitasi terfaktor, gempa 2002 dan gempa 2012	51
Gambar 4.23	Diagram Momen (Mx) antara akibat gravitasi terfaktor, gempa 2002 dan gempa 2012.....	52

Gambar 4.24	Diagram Momen (M_y) antara akibat gravitasi terfaktor, gempa 2002 dan gempa 2012.....	52
Gambar 4.25	Diagram prosentase perbedaan gaya aksial (P_u) antara gempa 2002 dan gempa 2012 terhadap beban gravitasi terfaktor.....	52
Gambar 4.26	Diagram prosentase perbedaan gaya aksial (P_u) akibat gempa 2012 terhadap gempa 2002.....	53
Gambar 4.27	Diagram prosentase perbedaan Momen (M_x) akibat gempa 2012 terhadap gempa 2002.....	53
Gambar 4.28	Diagram prosentase perbedaan Momen (M_y) akibat gempa 2012 terhadap gempa 2002.....	53
Gambar 4.29	Denah lantai lokasi balok yang ditinjau pada lantai 1	54
Gambar 4.30	Tampak potongan grid-3 lokasi balok yang ditinjau pada lantai 1	55
Gambar 4.31	Luasan A_{cp} dan keliling P_{cp}	58
Gambar 4.32	Luasan A_{oh} dan keliling P_h	58
Gambar 4.33	Detail isi tulangan balok yang ditinjau berdasarkan SNI 1726-2002	81
Gambar 4.34	Denah lantai lokasi balok yang ditinjau pada lantai 1	83
Gambar 4.35	Tampak potongan grid-3 lokasi balok yang ditinjau pada lantai 1	84
Gambar 4.36	Luasan A_{cp} dan keliling P_{cp}	87
Gambar 4.37	Luasan A_{oh} dan keliling P_h	87
Gambar 4.38	Detail isi tulangan balok yang ditinjau berdasarkan SNI 1726-2012	110
Gambar 4.39	Lokasi peninjauan perhitungan kolom pada grid-3	112
Gambar 4.40	Diagram interaksi kolom software SP-Column ..	115
Gambar 4.41	Hasil dari diagram interaksi software SP-Column.....	115
Gambar 4.42	Momen pada hubungan balok kolom.....	116
Gambar 4.43	Ilustrasi perhitungan lebar efektif balok	116

Gambar 4.44	Hasil diagram interaksi untuk melihat M_n pada kolom yang direncanakan	117
Gambar 4.45	Detail penampang kolom untuk desain tulangan geser	118
Gambar 4.46	Diagram P-M dari software SP-Column	123
Gambar 4.47	Output momen nominal dari software SP-Column	123
Gambar 4.48	Detail isi tulangan kolom	129
Gambar 4.49	Diagram persentase peningkatan biaya pembesian balok B1 berdasarkan SNI 1726-2012 terhadap SNI 1726-2002	130
Gambar 5.1	Grafik respon spektrum antara SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012	131
Gambar 5.2	Grafik simpangan antar lantai berdasarkan SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012	132

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Nilai Koefisien ζ	5
Tabel 2.2	Nilai koefisien C_t dan x	6
Tabel 2.3	Nilai koefisien untuk batas atas C_u	7
Tabel 2.4	Koefisien situs, F_a	8
Tabel 2.5	Koefisien situs, F_v	8
Tabel 2.6	Simpangan antar lantai ijin	13
Tabel 4.1	Perencanaan Dimensi Balok pada Bangunan.....	24
Tabel 4.2	Nilai $N-SPT$	27
Tabel 4.3	Kategori desain seismik perioda pendek.....	31
Tabel 4.4	Kategori desain seismik perioda 1 detik	31
Tabel 4.5	Massa struktur gedung.....	35
Tabel 4.6	Output gaya geser dasar SNI 1726-2002	38
Tabel 4.7	Output gaya geser dasar SNI 1726-2012	39
Tabel 4.8	Perhitungan simpangan antar lantai arah-x (2002).....	40
Tabel 4.9	Perhitungan simpangan antar lantai arah-y (2002).....	41
Tabel 4.10	Perhitungan simpangan antar lantai arah-x (2012).....	42
Tabel 4.11	Perhitungan simpangan antar lantai arah-y (2012).....	43
Tabel 4.12	Output gaya dalam akibat beban gravitasi terfaktor	45
Tabel 4.13	Output gaya dalam akibat beban gempa terfaktor berdasarkan SNI 1726-2002.....	45
Tabel 4.14	Output gaya dalam akibat beban gempa terfaktor berdasarkan SNI 1726-2012.....	46
Tabel 4.15	Gaya dalam kolom akibat kombinasi gravitasi	50
Tabel 4.16	Gaya dalam kolom akibat kombinasi gempa 2002.....	51
Tabel 4.17	Gaya dalam kolom akibat kombinasi gempa 2012.....	51
Tabel 4.18	Gaya Geser di Muka Kolom Kiri dan Kanan.....	77

Tabel 4.19	Rekapitulasi jumlah kebutuhan tulangan pada balok tipe B1 tiap lantai berdasarkan SNI 1726-2002.....	82
Tabel 4.20	Rekapitulasi jumlah kebutuhan luas tulangan pada balok tipe B1 tiap lantai berdasarkan SNI 1726-2002.....	82
Tabel 4.21	Gaya Geser di Muka Kolom Kiri dan Kanan.....	106
Tabel 4.22	Rekapitulasi jumlah kebutuhan tulangan pada balok tipe B1 tiap lantai berdasarkan SNI 1726-2012.....	111
Tabel 4.23	Rekapitulasi jumlah kebutuhan luas tulangan pada balok tipe B1 tiap lantai berdasarkan SNI 1726-2012.....	111
Tabel 4.24	Gaya dalam kolom akibat kombinasi gravitasi ..	114
Tabel 4.25	Gaya dalam kolom akibat kombinasi gempa 2002.....	114
Tabel 4.26	Gaya dalam kolom akibat kombinasi gempa 2012.....	114
Tabel 4.27	Analisa harga satuan pekerjaan pembesian dengan besi beton di Surabaya tahun 2015	129
Tabel 4.28	Anggaran biaya balok B1 SNI 1726-2002.....	130
Tabel 4.29	Anggaran biaya balok B1 SNI 1726-2012.....	130

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Standar perancangan bangunan gedung tahan gempa yang berlaku di Indonesia adalah SNI (Standar Nasional Indonesia) nomor 1726. SNI 1726 tahun 2002 menentukan pengaruh gempa rencana yang ditinjau dalam peta gempa dengan periode gempa ulang 500 tahun. Peta gempa di Indonesia dibedakan menjadi 6 wilayah gempa. Seiring terjadinya gempa besar yang terjadi di Indonesia, BSN (Badan Standarisasi Nasional Indonesia) menerbitkan standar perancangan bangunan gedung tahan gempa baru pada tahun 2012. Salah satu yang membedakan SNI tahun 2002 dan 2012, pengaruh gempa rencana harus ditinjau dengan periode gempa ulang 2500 tahun (pasal 4.1.1).

Gempa rencana yang menggunakan periode gempa ulang 500 tahun akan berdampak berbeda terhadap beban geser dasar akibat gempa (V) jika gempa rencana menggunakan periode gempa ulang 2500 tahun. Perencanaan gedung yang di desain dengan peraturan gempa tahun 2002 dan 2012 akan menghasilkan gaya geser dasar yang berbeda kemudian akan berdampak pula kepada hasil *output* gaya dalam dan penulangan struktur yang berbeda.

Pada kesempatan kali ini, penulis mencoba untuk membandingkan perbedaan hasil perhitungan gaya geser dasar, *output* gaya dalam, dan penulangan struktur antara bangunan gedung tahan gempa yang berpedoman SNI 1726 tahun 2002 dan 2012 pada bangunan gedung Hotel Sala View di Solo Jawa Tengah 8 lantai.

1.2 Rumusan Masalah

Perencanaan struktur ini menyelesaikan permasalahan-permasalahan sebagai berikut:

- Bagaimana mengetahui perbedaan perhitungan gaya geser dasar, *output* gaya dalam, dan penulangan struktur bangunan

gedung Hotel Sala View di Solo Jawa Tengah 8 lantai antara menggunakan SNI 1726 – 2002 dan SNI 1726 – 2012?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari penyimpangan pembahasan dari rumusan masalah yang diuraikan, maka diperlukan pembatasan masalah yang meliputi:

1. Data tanah eksisting diasumsikan dengan data tanah yang didapat yaitu menggunakan daerah Jogjakarta.
2. Gempa rencana yang mengacu pada SNI 1726 tahun 2002 menggunakan respon spektrum wilayah gempa 3.
3. Gempa rencana yang mengacu pada SNI 1726 tahun 2012 menggunakan periode ulang 2500 tahun pada peta *hazard* tahun 2010.
4. Perhitungan membandingkan perhitungan struktur utama (kolom dan balok)
5. Perancangan ini tidak termasuk memperhitungkan sistem utilitas bangunan, perencanaan pembuangan saluran air bersih dan kotor, instalasi/jaringan listrik, finishing dsb. Sistem distribusi pembebanan dalam hal ini ditetapkan sesuai dengan peraturan yang telah ada.

1.4 Tujuan

Tujuan dalam penulisan penulisan proyek tugas akhir sebagai berikut:

1. Mengetahui perbedaan perhitungan gaya geser dasar, output gaya dalam, dan penulangan struktur bangunan gedung Hotel Sala View di Solo Jawa Tengah 8 lantai antara menggunakan SNI 1726 – 2002 dan SNI 1726 – 2012

1.5 Manfaat

Manfaat yang bisa diharapkan dari perencanaan ulang ini adalah:

1. Mengetahui seberapa besar perbedaan perhitungan gaya geser dasar, output gaya dalam, dan penulangan struktur bangunan antara menggunakan SNI 1726 – 2002 dan SNI 1726 – 2012

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep perencanaan bangunan gedung tahan gempa

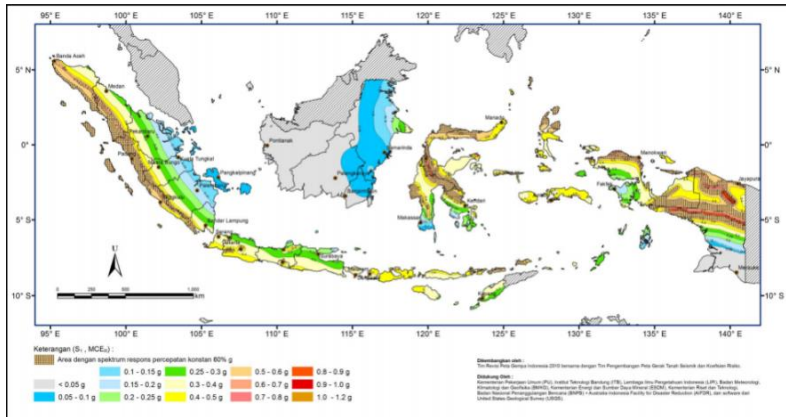
Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa, diperlukan standar dan peraturan perencanaan bangunan untuk menjamin keselamatan penghuni terhadap gempa yang mungkin terjadi. Filosofi dan konsep dasar perencanaan bangunan tahan gempa sebagai berikut:

- a. Bila gempa ringan, bangunan gedung tidak boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non-struktural (dinding, genteng dan langit-langit, kaca pecah maupun pada komponen strukturalnya (kolom dan balok, pondasi).
- b. Bila gempa sedang, bangunan gedung boleh mengalami kerusakan pada komponen non-strukturnya akan tetapi tidak boleh mengalami kerusakan pada komponen strukturnya.
- c. Bila gempa besar, bangunan gedung boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non-strukturnya maupun pada komponen strukturnya, akan tetapi penghuni bangunan tersebut bisa menyelamatkan jiwanya, artinya sebelum bangunan runtuh masih cukup waktu bagi penghuni untuk keluar atau mengungsi ketempat yang aman.

2.2 Wilayah Gempa di Indonesia

Peta zona gempa Indonesia sebagai acuan dasar perencanaan bangunan sangat diperlukan gunanya untuk menghasilkan hasil analisis yang cukup aman. Dalam SNI 1726 tahun 2002 pasal 4.7, wilayah Indonesia dibagikan ke dalam 6 wilayah gempa, seperti pada Gambar 2.1.

Berdasarkan SNI 1726 tahun 2012 pada pasal 14, untuk wilayah gempa Indonesia ditetapkan berdasarkan parameter S_s (percepatan batuan dasar pada perioda pendek 0,2 detik) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik), seperti terlihat pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3.



$$T < \zeta n$$

Di mana :

ζ = nilai koefisien yang didapat pada tabel 2.1

n = jumlah lantai gedung

Berdasarkan SNI 1726-2012 pada pasal 7.8.2 terdapat beberapa nilai batas untuk menentukan periode alami struktur, sebagai berikut:

1. Nilai minimum periode, T , ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_{\min} = C_t \times h_n^x$$

Di mana:

T_{\min} = nilai batas bawah periode bangunan

h_n = ketinggian struktur dalam meter, mulai dari dasar sampai tingkat tertinggi struktur

C_t = nilai koefisien yang didapat pada tabel 2.2

x = nilai koefisien yang didapat pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Nilai koefisien C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100% seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan mencegah rangka dari defleksi jika gaya gempa		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,80
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,90
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

2. Nilai minimum periode, T , ketika ketinggian kurang dari 12 lantai dan tinggi tiap lantai minimal 3m ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_{\min} = 0,1 \times N$$

Di mana:

N = jumlah tingkat

3. Nilai maksimum periode, T , ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_{\max} = C_u \times T_{\min}$$

Di mana:

T_{\max} = nilai batas atas periode bangunan

C_u = nilai koefisien yang didapatkan pada tabel 2.3

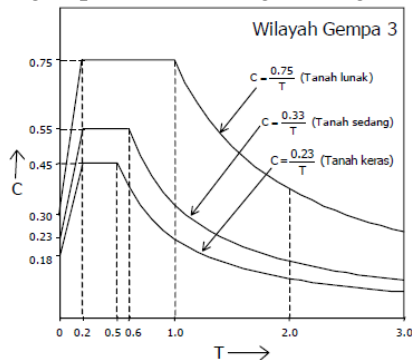
Tabel 2.3 Nilai koefisien untuk batas atas C_u

Parameter percepatan respon spektruml desain pada 1 detik, S_{DI}	Koefisien C_u
$\geq 0,40$	1,4
0,30	1,4
0,20	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,10$	1,7

2.4 Respon Spektrum

Berdasarkan SNI 1726 tahun 2002 pasal 4.7.4, respons spektrum ditentukan oleh parameter berikut ini:

1. Faktor jenis tanah
2. Faktor wilayah gempa untuk masing-masing daerah.



Gambar 2.4 Respon Spektrum Wilayah Gempa 3 (SNI 1726 tahun 2002)

Sedangkan berdasarkan SNI 1726 tahun 2012 pasal 6.3, respons spektrum desain harus ditentukan terlebih dahulu berdasarkan data berikut ini:

1. Parameter percepatan batuan dasar pada periode 0,2 detik dan 1,0 detik.
2. Parameter kelas situs (SA, SB, SC, SD, SE, dan SF)
3. Koefisien-koefisien dan parameter-parameter respons spektrum percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget (M_{CER})

Tabel 2.4 Koefisien situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (M_{CER}) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

CATATAN:

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Tabel 2.5 Koefisien situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa M_{CER} terpetakan pada periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

CATATAN :

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier
 - (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1
4. Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a \times S_s$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1$$

Di mana, koefisien situs F_a dan F_v mengikuti tabel 2.4 dan Tabel 2.5.

5. Parameter percepatan spektruml desain untuk perioda pendek, S_{DS} dan pada perioda 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = 2/3 \times S_{MS}$$

$$S_{D1} = 2/3 \times S_{M1}$$

6. Membuat kurva spektrum respons seperti pada Gambar 2.5 dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

- a) Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan berikut ini:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

- b) Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} .

- c) Untuk perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

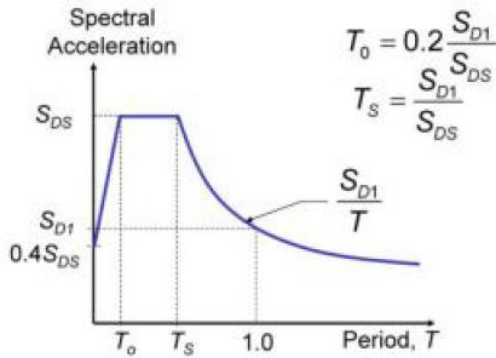
dimana,

S_{DS} = parameter respons spektruml percepatan desain pada perioda pendek

S_{D1} = parameter respons spektruml percepatan desain pada perioda 1 detik

T = perioda getar fundamental struktur

Modal Response Spectrum Analysis



Gambar 2.5 Spektrum Respon Desain

2.5 Koefisien Respon Seismik

Berdasarkan SNI 1726-2002 pasal 6.1.2, perhitungan koefisien seismik desain sebagai berikut:

$$\frac{C \times I}{R}$$

Dimana :

C =faktor respons gempa berdasarkan masing-masing wilayah gempa

I =faktor keutamaan gedung

R =faktor reduksi gempa

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.1.1, perhitungan koefisien seismik desain sebagai berikut:

$$C_{S1} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)}$$

Tapi, tidak perlu melebihi:

$$C_{S-Max} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I}\right)}$$

Tapi, tidak boleh kurang dari:

$$C_{S-Min} = 0,044 S_{DS} I$$

Jika, S_1 lebih besar dari 0,6g, maka tidak boleh kurang dari:

$$C_S = \frac{0,5 S_{D1}}{\left(\frac{R}{I} \right)}$$

Dimana :

S_{DS} = parameter respons spektruml percepatan desain pada periode pendek

S_{D1} = parameter respons spektruml percepatan desain pada periode 1 detik

R = faktor reduksi gempa

T = periode getar fundamental struktur

I = faktor keutamaan gedung

2.6 Geser Dasar Seismik (V)

Berdasarkan SNI 1726-2002 pasal 6.1.2, gaya geser dasar seismik desain dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$V = \frac{C \times I}{R} \times W_t$$

Dimana :

V = beban geser dasar seismik desain nominal

W_t = berat total gedung meliputi beban mati dan beban hidup

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.1, gaya geser dasar seismik desain dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$V = C_S \times W_t$$

Di mana :

V = beban geser dasar seismik desain nominal

W_t = berat total gedung meliputi beban mati dan beban hidup

C_S = koefisien seismik desain

2.7 Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SNI 1726-2002, faktor-faktor dan kombinasi beban untuk beban mati nominal, beban hidup nominal, dan beban gempa nominal adalah:

1. 1,4 DL
2. 1,2 DL + 1,0 LL
3. 1,2 DL + 1,6 (LL+H)
4. 1,2 DL + 1 LL $\pm 0,3 EX \pm 1 EY$
5. 1,2 DL + 1 LL $\pm 1 EX \pm 0,3 EY$
6. 0,9 DL $\pm 0,3 EX \pm 1 EY$
7. 0,9 DL $\pm 1 EX \pm 0,3 EY$

Di mana :

DL = beban mati meliputi beban mati sendiri dan beban mati tambahan

LL = beban hidup

EX =beban gempa arah-x

EY =beban gempa atah-y

H =beban lateral tanah

Berdasarkan SNI 1726-2012, faktor-faktor dan kombinasi beban untuk beban mati nominal, beban hidup nominal, dan beban gempa nominal menurut pasal 7.4 adalah:

1. 1,4DL
2. 1,2DL+1,0 LL
3. 1,2DL+1,6 (LL+H)
4. $(1,2 + 0,2 S_{DS})D \pm \rho(1,0EX+0,3EY) + 1,0LL$
5. $(1,2 + 0,2 S_{DS})D \pm \rho(1,0EY+0,3EX) + 1,0LL$
6. $(0,9 - 0,2 S_{DS})D \pm \rho(1,0EX+0,3EY) + 1,6 H$
7. $(0,9 - 0,2 S_{DS})D \pm \rho(1,0EY+0,3EX) + 1,6 H$

Di mana :

DL = beban mati meliputi beban mati sendiri dan beban mati tambahan

EX = beban gempa arah-x

EY = beban gempa atah-y

ρ = faktor redundansi untuk desain seismik

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek

H = beban lateral tanah

2.8 Simpangan antar lantai (Δ_s)

Berdasarkan SNI 1726-2002 pasal 8.2, simpangan antar lantai struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur di ambang keruntuhan tidak boleh melampaui sebagai berikut:

$$\Delta_s = 0,02 \times h$$

Di mana :

Δ_s = simpangan antar lantai

h = tinggi antar lantai

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.6, simpangan antarlantai tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin yang didapatkan dari tabel 2.6 yang dibedakan berdasarkan kategori resiko gempa dan desain strukturnya. Penentuan simpangan antar lantai dapat dilihat pada gambar 2.6.

Tabel 2.6 Simpangan antar lantai ijin

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	$0,025 h_{sx}^c$	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$

Keterangan tabel 2.6:

^a h_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat x

^b Untuk sistem penahan gaya gempa yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismik D, E, dan F, simpangan antar lantai tingkat ijin harus sesuai dengan persyaratan 7.12.1.1.

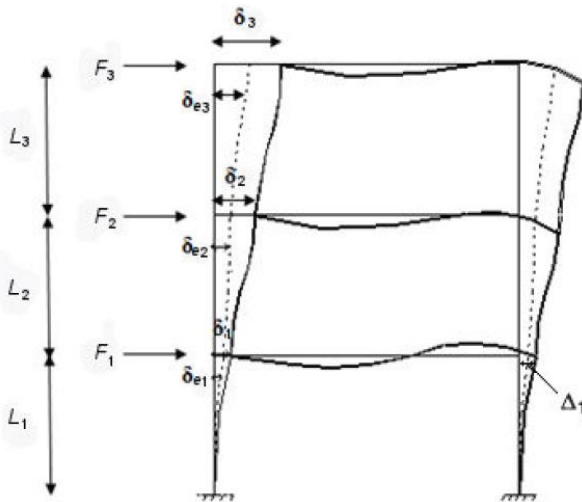
^c Tidak boleh ada batasan simpangan antar lantai untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan

sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi

simpangan antar lantai tingkat. Persyaratan pemisahan struktur dalam 7.12.3 tidak diabaikan.

^d Struktur di mana sistem struktur dasar terdiri dari dinding geser batu bata yang didesain sebagai elemen vertikal kantilever dari dasar atau pendukung fondasinya yang dikonstruksikan sedemikian

agar penyaluran momen diantara dinding geser (kopel) dapat diabaikan.



Gambar 2.6 Penentuan simpangan antar lantai

Keterangan gambar 2.6:

F_3 = gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_{e3} = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_3 = $C_d \delta_{e3} / I_e$ = perpindahan yang diperbesar

Δ_3 = $(\delta_{e3} - \delta_{e2}) C_d / I_e \leq \Delta_a$ (Tabel 2.6)

Tingkat 2

F_2 = gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_{e2} = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_2 = $C_d \delta_{e2} / I_e$ = perpindahan yang diperbesar

Δ_2 = $(\delta_{e2} - \delta_{e1}) C_d / I_e \leq \Delta_a$ (Tabel 2.6)

Tingkat 1

F_1 = gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_{e1} = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_1 = $C_d \delta_{e1} / I_e$ = perpindahan yang diperbesar

Δ_1 = $\delta_{e1} \leq \Delta_a$ (Tabel 2.6)

Δ_I = Simpangan antar lantai

Δ_i / L_i = Rasio simpangan antar lantai

δ_3 = Perpindahan total

C_d = Faktor amplifikasi defleksi, Pasal 7.2.2

BAB III METODOLOGI

3.1 Metodologi studi perbandingan

Pada studi ini akan membandingkan hasil perbedaan antara SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012. Gambar 3.1 penjelasan metode analisis yang akan dipakai. Tahapan-tahapan dalam perbandingan antara SNI 1726-2002 dan 1726-2012 adalah sebagai berikut :

❑ *Preliminary design*

Desain awal merupakan awal dari perencanaan struktur gedung ini. Pada tahap desain struktur kita menentukan dimensi elemen struktur gedung yang digunakan untuk tahap perencanaan selanjutnya mengacu sesuai dengan SNI 2847-2013 serta buku referensi lainnya yang menunjang dalam desain awal struktur bangunan gedung.

❑ *Pembebanan awal*

Tahap pembebanan meliputi beban mati dan beban hidup yang mengacu pada peraturan SNI 1727-2013.

❑ *Pembebanan gempa*

Sedangkan beban gempa mengacu pada peraturan SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012.

❑ *Pemodelan Struktur*

Melakukan dua pemodelan yang sama pada program bantu *software* SAP 2000 v.14.2.2 dengan memberikan pembebanan awal yang sama. Pada pemodelan pertama menggunakan *input* pembebanan gempa berdasarkan SNI 1726-2002 dan pemodelan kedua berdasarkan SNI 1726-2012.

❑ *Analisa Hasil*

Kontrol hasil *output* dari program bantu SAP2000 yaitu:

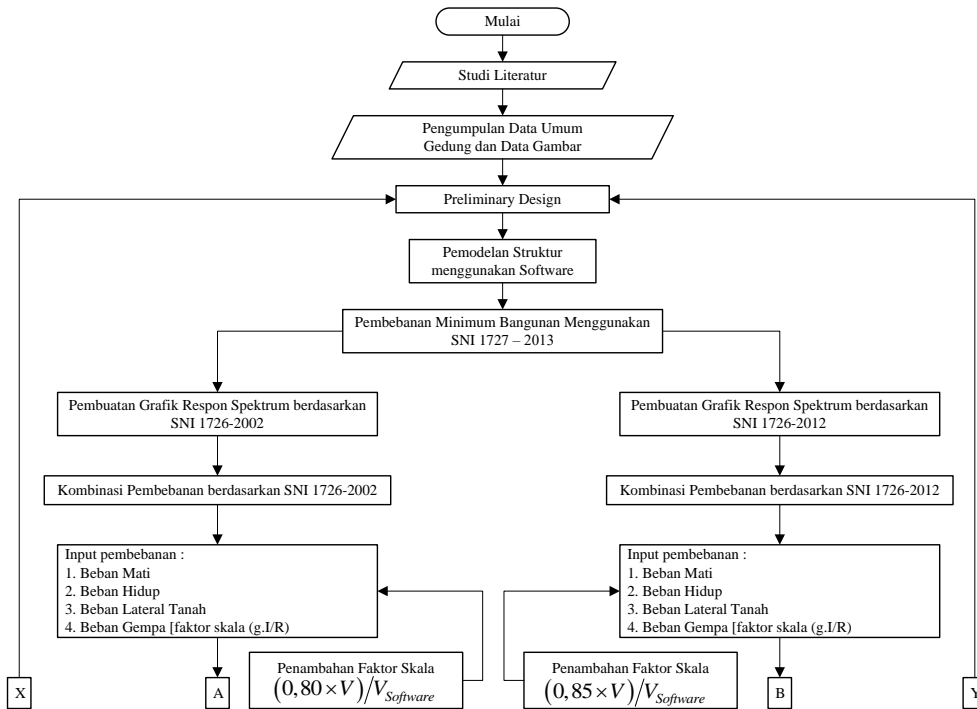
1. Kontrol periode fundamental struktur (T)
2. Gaya geser dasar (V)
3. Simpangan antar lantai (Δs)

Jika ketiga kontrol tersebut terpenuhi, maka dilakukan perhitungan kebutuhan tulangan untuk struktur utama (balok

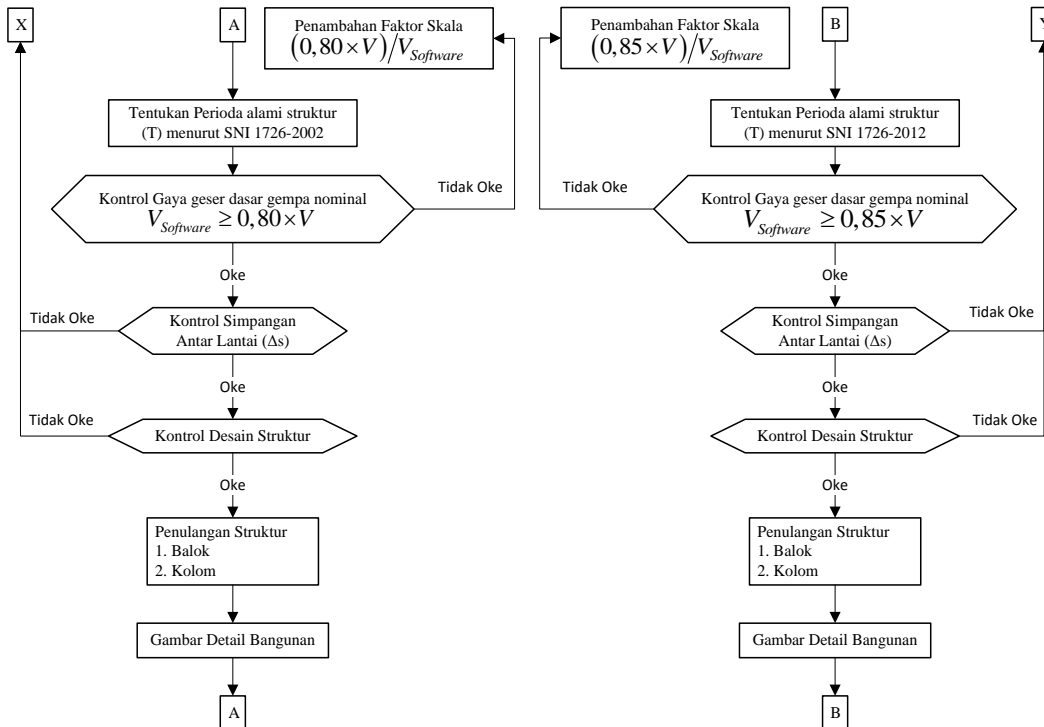
dan kolom). Jika tidak terpenuhi, maka dilakukan pengecekan kembali dan perubahan pada tahap *preliminary design*.

❑ Kesimpulan

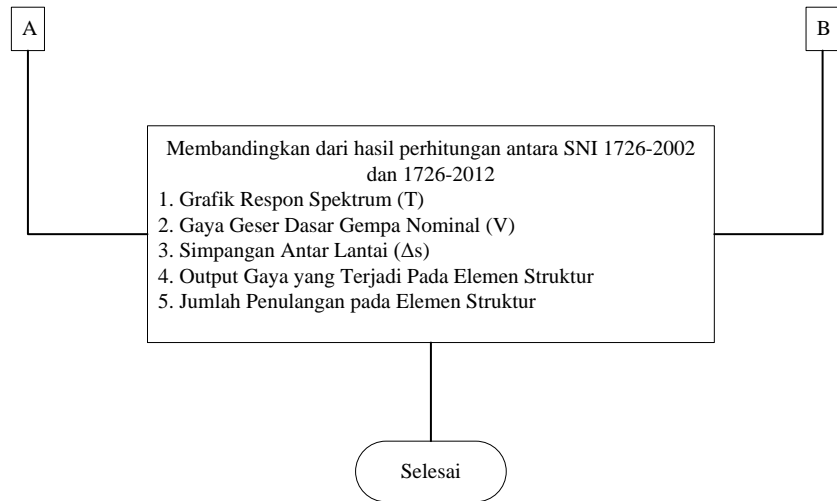
Rangkuman perbedaan hasil dari SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012 serta saran untuk pembaca.



Gambar 3.1 Flow Chart Proses Pengerjaan Studi Secara Garis Besar (1)



Gambar 3.2 Flow Chart Proses Pengerjaan Studi Secara Garis Besar (2)



Gambar 3.3 Flow Chart Proses Pengerjaan Studi Secara Garis Besar (3)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISA dan PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Umum

Dalam studi ini, adapun data perencanaan struktur pada Hotel Sala View, yaitu:

Fungsi bangunan : Hunian hotel

Lokasi bangunan : Solo – Jawa Tengah

Mutu beton (f_c') : 30 Mpa

Mutu baja (f_y) : 400 Mpa

4.2 Perencanaan Dimensi Struktur

4.2.1 Struktur balok

Perhitungan perencanaan dimensi struktur balok berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.2.1 tabel 9.5a, diambil contoh panjang balok antar kolom $l = 700$ cm.

a. Perhitungan rencana tinggi balok (h)

$$h_{\min} = \left(\frac{l}{16} \right) \times \left(0,4 + \left(\frac{f_y}{700} \right) \right)$$

$$h_{\min} = \left(\frac{700}{16} \right) \times \left(0,4 + \left(\frac{400}{700} \right) \right) = 42,5 \text{ cm} \approx 60 \text{ cm}$$

b. Rencana lebar balok (b)

$$b = \left(\frac{2}{3} \right) \times h = \left(\frac{2}{3} \right) \times 60 = 40 \text{ cm}$$

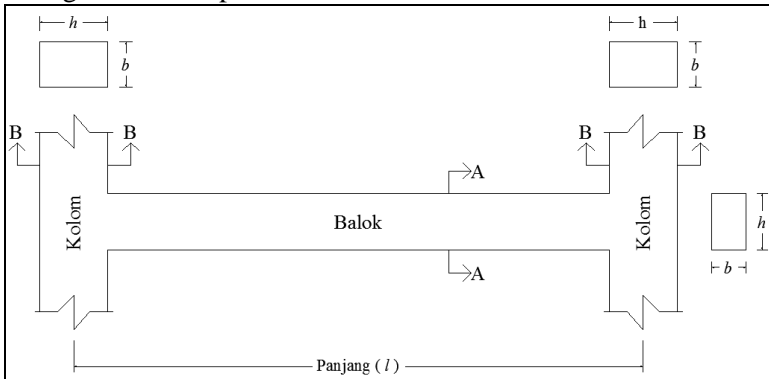
Jadi, hasil contoh perencanaan di atas ukuran dimensi balok menggunakan 40/60. Dengan menggunakan perhitungan yang sama dengan contoh di atas, maka didapat ukuran dimensi struktur balok rencana seperti pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perencanaan Dimensi Balok pada Bangunan

Nama		Formula	Panjang (mm)	h_{\min} (mm)	h_{rencana} (mm)	b_{\min} (mm)	b_{rencana} (mm)	Balok rencana
Sloof	Memanjang	S1	$l/12$ 7000	567	600	400	400	40/60
Sloof	Melintang	S2	$l/12$ 6000	486	500	250	300	30/50
B. Induk	Memanjang	B1	$l/12$ 7000	567	600	400	400	40/60
B. Induk	Melintang	B1	$l/12$ 6000	486	600	400	400	40/60
B. Kanti		B1	$l/08$ 3500	425	600	400	400	40/60
B. Anak		B2	$l/12$ 3500	283	500	250	300	30/50

Catatan :

- Sloof (S1 dan S2) direncanakan pada lantai basement dan GWT.
- Balok (B1 dan B2) direncanakan pada lantai dasar sampai dengan lantai atap.



Gambar 4.1 Ilustrasi Notasi Dimensi Balok dan Kolom

4.2.2 Struktur kolom

Perhitungan mencari perencanaan dimensi kolom dengan menggunakan perbandingan inersia penampang balok terhadap bentang balok rencana dengan perbandingan inersia penampang kolom terhadap tinggi kolom rencana (L_{kolom}) sebesar 450 cm.

$$\frac{I_{\text{Kolom}}}{L_{\text{Kolom}}} \geq \frac{I_{\text{Balok}}}{L_{\text{Balok}}}$$

$$\frac{\frac{1}{12}bh^3}{L_{\text{Kolom}}} \geq \frac{\frac{1}{12}bh^3}{L_{\text{Balok}}}$$

$$\frac{\frac{1}{12} \times \frac{2}{3} h^4}{450} \geq \frac{\frac{1}{12} 40 \times 60^3}{450}$$

$$h \geq 60cm$$

$$b \approx 2/3 \times 60 = 40cm$$

Jadi, dimensi kolom yang dipakai sebesar 50/70.

4.3 Pembebanan Struktur

Pembebanan beban pada komponen struktur bangunan gedung menyesuaikan dengan SNI 1727-2013, ASCE 7-2002, dan brosur material yang ada pada saat ini. Pembebanan yang diberikan pada komponen struktur bangunan meliputi beban mati, beban hidup, beban hidup atap, beban angin, dan beban lateral tanah.

Beban mati (D)

Berat beton	: 2400 kg/m ³
Berat baja	: 7850 kg/m ³
Beban dinding	: 90 kg/m ² (Brosur)
Beban keramik	: 18 kg/m ² (Brosur)
Beban spesi	: 38 kg/m ² (Brosur)
Beban floor hardener	: 6 kg/m ² (Brosur)
Beban plafond + penggantung	: 15 kg/m ² (ASCE 7-2002)
Beban <i>ducting</i> ME	: 20 kg/m ² (ASCE 7-2002)
Beban penutup atap (asbes)	: 10 kg/m ² (Brosur)
Beban railling tangga	: 740 kg/m ² (SNI 1727-2013)
Beban lift	: 9750 kg (Brosur)

Beban tekanan tanah (H)

Beban tekanan tanah	: 850 kg/m ² (SNI 1727-2013)
---------------------	---

Beban hidup (L)

Beban area parkir	: 192 kg/m ² (SNI 1727-2013)
Beban hall/lobby	: 479 kg/m ² (SNI 1727-2013)
Beban hunian hotel	: 154 kg/m ² (SNI 1727-2013)
Beban kantor	: 192 kg/m ² (SNI 1727-2013)
Beban tangga	: 240 kg/m ² (SNI 1727-2013)
Beban lift	: 1000kg (Brosur)

Beban-beban hidup diatas sudah direduksi sesuai dengan SNI 1727-2013.

Beban hidup atap (Lr)

Beban hujan	: 88 kg/m ² (SNI 1727-2013)
Beban atap	: 96 kg/m ² (SNI 1727-2013)

Beban angin (W)

☐ **Beban angin dinding**

Beban angin pada dinding akan didistribusikan ke kolom dengan perhitungan berdasarkan SNI 1727-2013 pada pasal 26 dan 27. Beban angin pada elevasi lantai paling atas (angin maksimum), yaitu :

– Beban angin dinding datang	: 27,09 N/m ²
– Beban angin dinding pergi	: 23,57 N/m ²
– Beban angin dinding tepi	: 42,00 N/m ²

Beban angin pada lantai 1 dengan elevasi +4,50m dari permukaan tanah (angin minimum), yaitu :

– Beban angin dinding datang	: 14,85 N/m ²
– Beban angin dinding pergi	: 12,92 N/m ²
– Beban angin dinding tepi	: 23,02 N/m ²

☐ **Beban angin atap**

Beban angin pada atap akan didistribusikan pada elemen gording dengan perhitungan berdasarkan SNI 1727-2013 pada pasal 26 dan 27.

– Beban angin atap datang	: 28,07 N/m ²
– Beban angin atap pergi	: 17,97 N/m ²

4.4 Pembebanan Gempa (E)

Perhitungan beban gempa pada bangunan ini menggunakan analisa respon spektrum yang berdasarkan pada SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012.

4.4.1 Jenis tanah

Menentukan klasifikasi situs tanah dari data tanah merupakan langkah awal untuk merencanakan beban gempa pada sebuah

struktur bangunan. Data tanah menggunakan SPT (*Standart Penetration Test*), diketahui sebagai berikut :

Tabel 4.2 Nilai N-SPT

i	Deskripsi jenis tanah	d_i	N_i	$\frac{d_i}{N_i}$
1	Pasir halus	2	9	0,22
2	Pasir kasar	4	32	0,13
3	Pasir kasar	6	22,67	0,26
4	Pasir halus	4	30,5	0,13
5	Pasir kasar	2	52	0,04
6	Pasir sedang	5	52,5	0,1
7	Pasir kasar	3,5	55	0,06
8	Pasir sedang	3,5	55,5	0,06
Total (Σ)		30		1,00

Keterangan :

i : Lapisan tanah ke- i

N_i : Tahanan penetrasi standart (pukulan)

d_i : Tebal lapisan atau kedalaman lapisan tanah (m¹)

$$\bar{N} = \frac{\sum d_i}{\sum \frac{d_i}{N_i}} = \frac{30}{1,00} = 30$$

Dari hasil perhitungan di atas, dimana $\bar{N} = 30$, maka dapat disimpulkan klasifikasi situs tanah termasuk SD (tanah sedang).

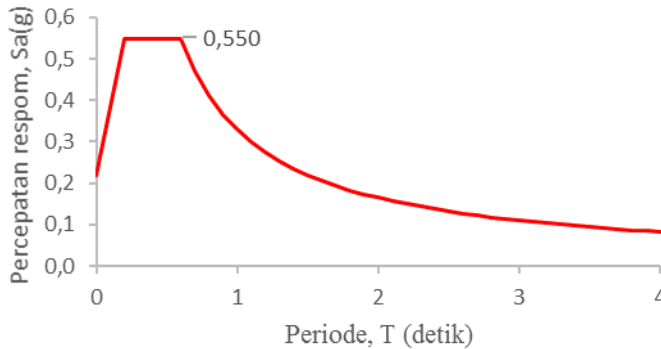
4.4.2 Respon spektrum berdasarkan SNI 03-1726-2002

Kota Solo dimana tempat perencanaan bangunan gedung akan di bangun, dapat diklasifikasikan sebagai berikut.

- Berdasarkan gambar wilayah gempa indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dengan perioda ulang 500 tahun, kota Solo termasuk ke dalam kategori zona wilayah gempa 3 dengan percepatan puncak batuan dasar sebesar 0,15g.

- Jenis tanah dimana struktur gedung direncanakan berada adalah tanah sedang (SD).

Dari data di atas dapat disimpulkan spektrum gempa rencana yang digunakan seperti pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Spektrum gempa rencana zona wilayah gempa 3 dengan tanah sedang berdasarkan SNI 1726-2002

4.4.3 Respon spektrum berdasarkan SNI 1726-2012

Berdasarkan SNI 1726-2012 untuk desain respon spektrum gempa rencana, tahapan yang perlu dilakukan sebagai berikut.

- Melihat peta *hazard* gempa indonesia 2010 pada peta untuk probabilitas gempa 2% dalam 50 tahun dan mendapatkan data percepatan batuan dasar, yaitu:

$$S_s = 0,75g$$

$$S_I = 0,30g$$

- Menentukan koefisien situs F_a dan F_v

Koefisien situs F_a

Menentukan koefisien situs F_a ditinjau dari parameter nilai S_s dan berdasarkan jenis tanah, maka didapat nilai:

$$F_a = 1,2$$

Koefisien situs F_v

Menentukan koefisien situs F_v ditinjau dari parameter nilai S_I dan berdasarkan jenis tanah, maka didapat nilai:

$$F_v = 1,8$$

- Menentukan nilai S_{MS} dan S_{MI}

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_s \\ &= 0,90g \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{MI} &= F_v \times S_I \\ &= 0,54g \end{aligned}$$

- Menentukan nilai S_{DS} dan S_{DI}

$$\begin{aligned} S_{DS} &= 2/3 \times S_{MS} \\ &= 0,60g \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{DI} &= 2/3 \times S_{DI} \\ &= 0,36g \end{aligned}$$

- Menentukan nilai T_0 dan T_S

$$\begin{aligned} T_0 &= 0,2 \times \frac{S_{DI}}{S_{DS}} \\ &= 0,2 \times \frac{0,36}{0,60} \\ &= 0,12 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_S &= \frac{S_{DI}}{S_{DS}} \\ &= \frac{0,36}{0,60} \\ &= 0,60 \end{aligned}$$

- Menentukan nilai S_a

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , respon spektrum percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan:

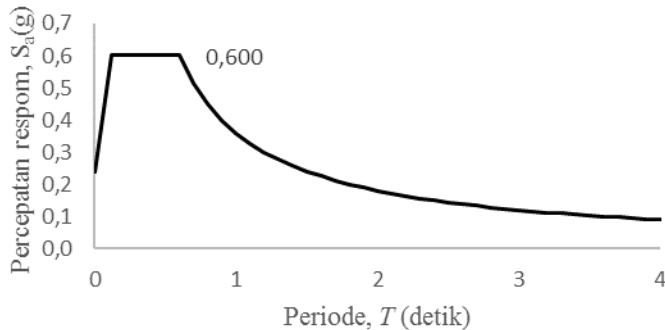
$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

2. Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_S , respon spektrum desain, S_a , sama dengan S_{DS} .
3. Untuk periode lebih besar dari T_S , respon spektrum percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

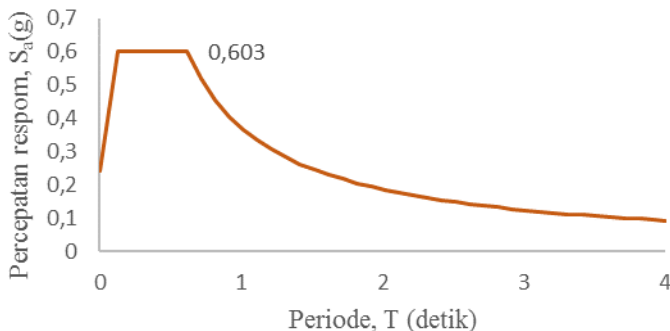
$$S_a = \frac{S_{DI}}{T}$$

Maka, dari tahapan di atas hasil grafik respon spektrum seperti pada gambar 4.3, namun grafik tersebut akan dibandingkan terhadap grafik respon dari *website* resmi puskim.pu.go.id seperti pada gambar 4.4.

Perbandingan gambar 4.3 dengan nilai puncak (S_{Ds}) sebesar 0,600 lebih kecil dari gambar 4.4 dengan nilai puncak (S_{Ds}) sebesar 0,603. Maka perencanaan respon spektrum berdasarkan SNI 1726-2012 menggunakan gambar 4.4.



Gambar 4.3 Spektrum gempa rencana berdasarkan SNI 1726-2012



Gambar 4.4 Spektrum gempa rencana dari puskim.pu.go.id

4.5 Kategori Desain Seismik

Struktur bangunan yang akan direncanakan harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti SNI 1726-2012 pasal 6.5. Menentukan kategori desain seismik dapat mengacu pada tabel 4.3 dan 4.4.

Tabel 4.3 Kategori desain seismik perioda pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 4.4 Kategori desain seismik perioda 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Pada perencanaan struktur gedung bangunan “Sala View” dengan keterangan sebagai berikut :

$$S_{DS} = 0,603$$

$$S_{D1} = 0,360$$

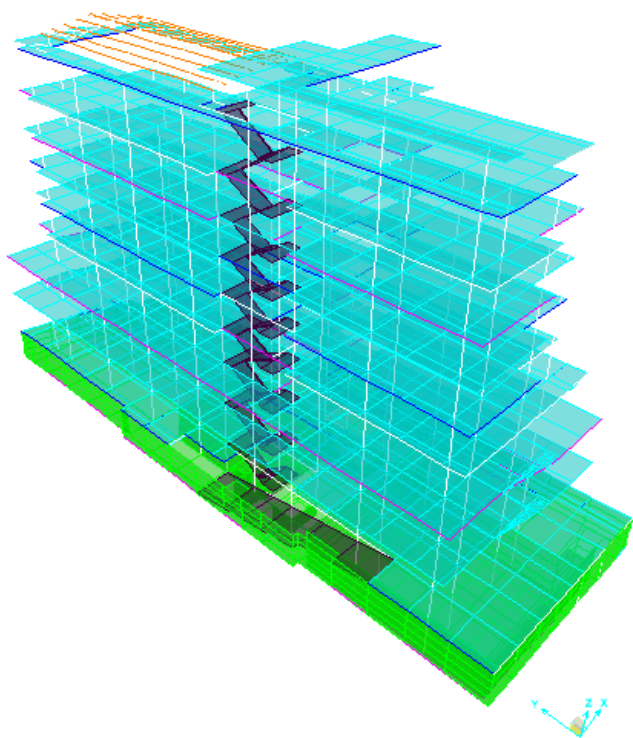
Kategori resiko = II

Jadi dapat disimpulkan perencanaan ini termasuk pada kategori resiko bangunan D.

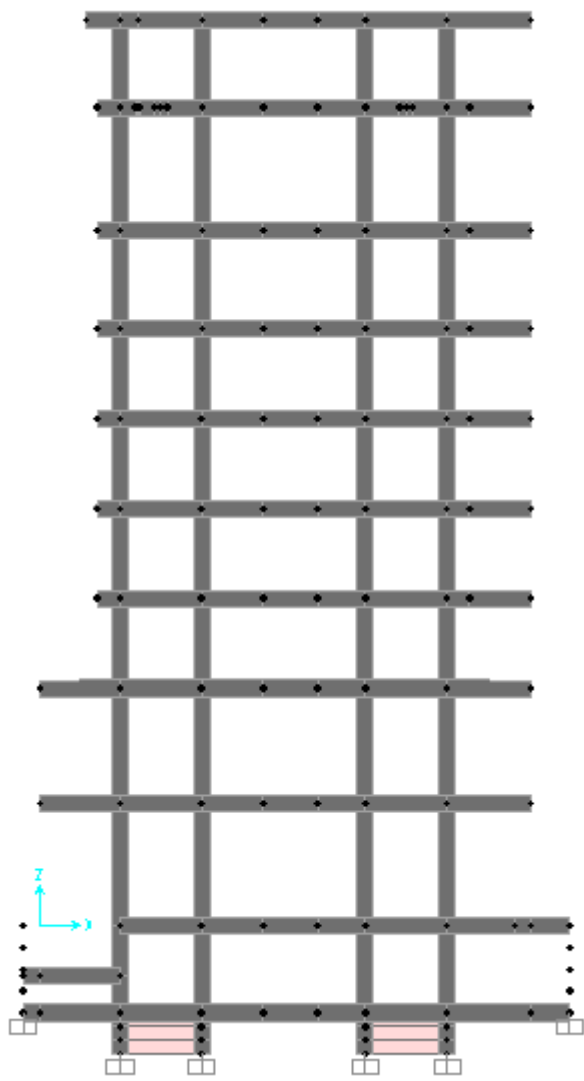
4.6 Pemodelan

Pemodelan struktur menggunakan *software* SAP2000 14.2.2. Struktur gedung termasuk pada kategori bangunan D, jadi struktur dimodelkan sebagai struktur portal terbuka dengan menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Model struktur dibuat sebanyak 2 buah yang identik, namun pada setiap model

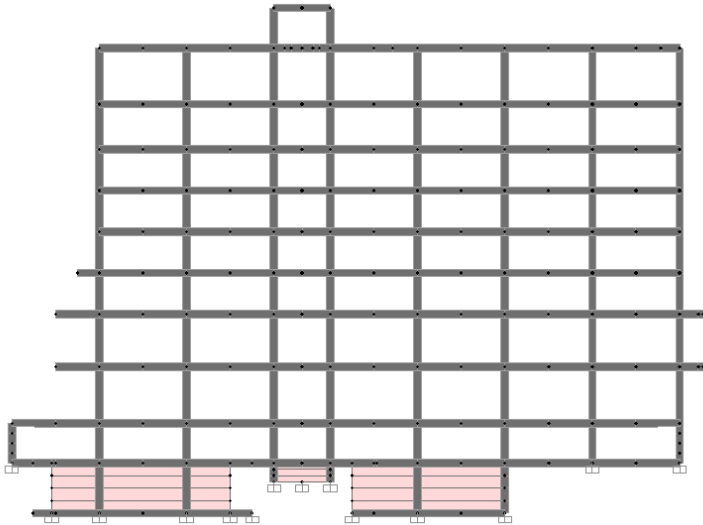
struktur tersebut diberikan gaya gempa yang berbeda, yaitu dengan SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012.



Gambar 4.5 Gambar 3D model struktur gedung Sala View



Gambar 4.7 Gambar tampak potongan x-z



Gambar 4.8 Gambar tampak potongan y-z

Tabel 4.5 Massa struktur gedung

Lantai	Elevasi	Berat sendiri	DL	LL	Total
		kg	kg	kg	kg
B2	SL -7,20	568.423	-	-	568.423
B-Lift	SL -4,70	31.050	-	-	31.050
B-1	SL -3,20	1.101.876	31.522	206.909	1.340.307
Dasar	SL 0,00	766.858	153.879	397.324	1.318.061
Lantai 1	SL +4,50	732.473	220.508	175.990	1.128.972
Lantai 2	SL +8,70	697.697	192.356	151.723	1.041.776
Lantai 3	SL +12,00	581.053	194.152	106.611	881.816
Lantai 5	SL +15,30	558.362	197.317	98.295	853.974
Lantai 6	SL +18,30	558.362	197.317	98.295	853.974
Lantai 7	SL +21,90	566.426	197.317	98.295	862.038
Lantai 8	SL +25,50	567.938	209.246	305.737	1.082.920
Roof 1	SL +30,00	429.788	80.998	121.603	632.389
Roof 2	SL +33,20	118.989	-	25.624	144.614
Tangga		59.054	9.988	40.212	109.254
Total		7.338.349	1.684.601	1.826.618	10.849.567

4.7 Massa Struktur Gedung

Massa struktur gedung adalah total berat struktur gedung yang mencakup beban-beban yang sudah dijelaskan pada sub-bab 4.3, pada tabel 4.5 merupakan rekapitulasi berat struktur pada setiap lantai, dengan nilai total struktur bangunan sebesar 10.849.567 kg.

4.8 Kontrol Analisis Terhadap Pemodelan Struktur

4.8.1 Periode struktur berdasarkan SNI 03-1726-2002

Kontrol periode getar alami fundamental (T) sebagai berikut.

$$T = \zeta \times H = 0,18 \times 11 = 1,980$$

Berdasarkan analisis 3 dimensi pada program SAP2000 didapatkan output waktu getar alami fundamental, yaitu :

$$T_{SAP} = 1,352$$

Dapat disimpulkan dari perhitungan periode (T) dibandingkan dengan *output* dari program SAP2000 sudah memenuhi karena T_{SAP} tidak melebihi dari T hitung.

4.8.2 Periode struktur berdasarkan SNI 1726-2012

Periode struktur yang digunakan memiliki nilai batas maksimum dan batas minimum, yaitu:

1. $T_a \text{ min} = C_t \times h_n^x$
 $= 0,0466 \times 33,2^{0,9}$
 $= 1,090$
2. $T_a \text{ min} = 0,1 \times N$
 $= 0,1 \times 11$
 $= 1,100$
3. $T_a \text{ maks} = C_u \times T_a \text{ min}$
 $= 1,40 \times 1,100$
 $= 1,540$

Dapat disimpulkan sebagai berikut:

$$\begin{array}{rcl} T_a \text{ min} & < & T_{SAP} & < & T_a \text{ maks} \\ 1,100 & < & 1,352 & < & 1,540 \end{array}$$

Maka, T_{SAP} sudah memenuhi karena nilai T_{SAP} sudah di antara T_a min dan T_a maks.

4.8.3 Gaya geser dasar nominal gempa (V_{statik}) berdasarkan SNI 1726-2002

Dengan nilai periode (T_{sap}) tersebut, akan didapat nilai C berdasarkan grafik respon spektra SNI 03-1726-2002, yaitu :

$$C = \frac{0,33}{T_{sap}} = \frac{0,33}{1,352} = 0,244$$

Setelah didapatkan nilai C , selanjutnya dapat dilakukan perhitungan nilai gaya geser nominal statik ekivalen (V). Jadi, nilai gaya geser nominal statik ekivalen sebesar :

$$V_{statik} = \frac{C \times I}{R} \times Wt = \frac{0,244 \times 1}{8,5} \times 10.849.567 = 311.446,40 \text{ kg}$$

Keterangan :

I =Faktor keutamaan bangunan

Wt =Berat total struktur bangunan meliputi beban mati dan hidup

R =Faktor reduksi (SRPMK : 0,85)

Hasil nilai gaya geser dasar pada output SAP2000 awal:

$V_{SAP2000}$ arah X = 189.517 kg

$V_{SAP2000}$ arah Y = 202.939 kg

80% V_{statik} = $80\% \times 311.446,40$
= 249.157,123 kg

Dimana syarat $V_{SAP} > 80\% V_{statik}$ belum memenuhi, jadi untuk mencapai syarat tersebut diperlukan faktor pengali sebesar, yaitu:

Faktor Pengali – X = 1,520

Faktor pengali – Y = 1,420

Setelah diberikan faktor pengali V_{SAP} menjadi:

$V_{SAP2000}$ arah X = 249.833,08 kg

$V_{SAP2000}$ arah Y = 249.939,33 kg

Dari data yang di atas, bahwa gaya geser dasar pada SAP2000 sudah benar karena lebih dari yang disyaratkan $80\% V_{statik}$.

Tabel 4.6 *Output* gaya geser dasar SNI 1726-2002

TABLE: Base Reactions					
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf
E-RS-X-2002	LinRespSpec	Max	249.833,08	75.726,92	10.501,85
E-RS-Y-2002	LinRespSpec	Max	75.582,82	249.939,33	4.891,65

4.8.4 Gaya geser dasar nominal gempa (V_{statik}) berdasarkan SNI 1726-2012

Menentukan nilai koefisien respon seismik, C_s , sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 C_{S1} &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)} \\
 &= \frac{0,603}{\left(\frac{8}{1}\right)} \\
 &= 0,075
 \end{aligned}$$

Nilai C_{S1} tidak perlu lebih besar dari:

$$\begin{aligned}
 C_{Smaksimum} &= \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)} \\
 &= \frac{0,373}{1,352\left(\frac{8}{1}\right)} \\
 &= 0,034
 \end{aligned}$$

Namun, nilai C_{S1} tidak boleh kurang dari:

$$\begin{aligned}
 C_{Sminimum} &= 0,044 \times S_{DS} \times I \\
 &= 0,027
 \end{aligned}$$

Jika nilai S_{DS} lebih besar dari 0,6g maka nilai C_{S1} tidak boleh kurang dari:

$$\begin{aligned}
 C_s &= 0,5 S_1/(R/I) \\
 &= 0,020
 \end{aligned}$$

Keterangan :

- a) Nilai S_{DS} sebesar 0,603
- b) Nilai S_{D1} sebesar 0,373
- c) Nilai R sebesar 8,0
- d) Nilai I sebesar 1,0

Nilai koefisien respon seismik, C_s , yang digunakan adalah 0,034, maka nilai gaya geser nominal statik ekivalen sebesar:

$$\begin{aligned} V_{statik} &= C_s \times W_t \\ &= 0,034 \times 10.849.567 \\ &= 368.885,29 \text{ kg} \end{aligned}$$

Hasil nilai gaya geser dasar pada output SAP2000 awal:

$$VSAP_{arah X} = 201.351 \text{ kg}$$

$$VSAP_{arah Y} = 215.612 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} 85\% V_{statik} &= 85\% \times 368.885,29 \\ &= 313.552,497 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dimana syarat $VSAP > 85\% V_{statik}$ belum memenuhi, jadi untuk mencapai syarat tersebut diperlukan faktor pengali sebesar, yaitu:

$$\text{Faktor Pengali} - X = 1,910$$

$$\text{Faktor pengali} - Y = 1,790$$

Setelah diberikan faktor pengali VSAP menjadi:

$$VSAP_{arah X} = 313.935,44 \text{ kg}$$

$$VSAP_{arah Y} = 315.062,85 \text{ kg}$$

Dari data yang di atas, bahwa gaya geser dasar pada SAP2000 sudah benar karena lebih dari yang disyaratkan $85\% V_{statik}$.

Tabel 4.7 *Output* gaya geser dasar SNI 1726-2012

TABLE: Base Reactions					
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf
E-RS-X-2012	LinRespSpec	Max	313.935,44	95.541,09	13.197,04
E-RS-Y-2012	LinRespSpec	Max	94.110,98	315.062,85	6.134,86

4.8.5 Evaluasi simpangan antar lantai (Δs) berdasarkan SNI 1726-2002

Simpangan antar lantai (Δs) pada saat kondisi kinerja batas ultimit struktur bangunan dibatasi dengan, Δs_{ijin} , seperti di bawah ini.

$$\Delta s_{ijin} = 0,020 \times h$$

Keterangan:

h adalah tinggi tingkat antar lantai.

Pada tabel 4.8 dan 4.9 berikut, merupakan hasil perhitungan simpangan antar lantai untuk arah-x dan arah-y berdasarkan kondisi kinerja batas ultimit, dapat dilihat pada Gambar 4.9 berdasarkan diagram perpindahan.

Tabel 4.8 Perhitungan simpangan antar lantai arah-x (2002)

Tingkat	Δs_{total}	Δs	h_{sx}	Δs_{ijin}	<i>kontrol</i>
	(mm)	(mm)	(m)	(mm)	$\Delta s < \Delta s_{ijin}$
L. Dasar	0,88	3,45	3,20	64	Aman
Lantai 1	7,47	25,80	4,50	90	Aman
Lantai 2	14,76	28,54	4,20	84	Aman
Lantai 3	19,04	16,73	3,30	66	Aman
Lantai 5	23,34	16,83	3,30	66	Aman
Lantai 6	27,18	15,05	3,30	66	Aman
Lantai 7	30,62	13,45	3,30	66	Aman
Lantai 8	33,92	12,94	3,60	72	Aman
Roof 1	37,15	12,64	4,50	90	Aman
Roof 2	39,35	8,59	3,20	64	Aman

Contoh perhitungan simpangan antar lantai:

- ✓ Nilai perpindahan lantai Δs_{total} dari SAP2000 yang didapat akibat kombinasi gaya gempa lantai 1 (δ_2) sebesar 7,47mm dan lantai 2 (δ_3) sebesar 14,76mm
- ✓ Hitung perpindahan di lantai 2, Δs dengan persamaan berikut:

$$\Delta s = (\delta_3 - \delta_2) \times \frac{0,7 \times R}{Faktorskala}$$

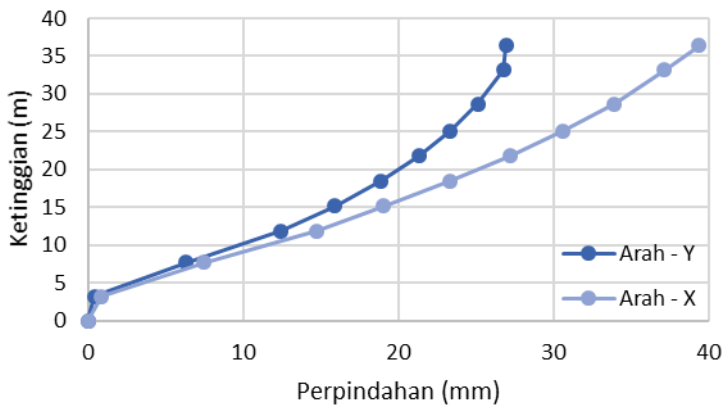
$$\Delta s = (14,76 - 7,47) \times \frac{0,7 \times 8,5}{1,520}$$

$$\Delta s = 28,54 \text{ mm}$$

- ✓ Kontrol nilai perpindahan di lantai 2, yaitu:
84mm > 29,88mm (memenuhi)

Tabel 4.9 Perhitungan simpangan antar lantai arah-y (2002)

Tingkat	Δs_{total}	Δs	h_{sx}	Δs_{ijin}	<i>kontrol</i>
	(mm)	(mm)	(m)	(mm)	$\Delta s < \Delta s_{ijin}$
L. Dasar	0,45	1,87	3,20	64	Aman
Lantai 1	6,34	24,69	4,50	90	Aman
Lantai 2	12,43	25,54	4,20	84	Aman
Lantai 3	15,93	14,64	3,30	66	Aman
Lantai 5	18,88	12,35	3,30	66	Aman
Lantai 6	21,34	10,31	3,30	66	Aman
Lantai 7	23,35	8,41	3,30	66	Aman
Lantai 8	25,12	7,43	3,60	72	Aman
Roof 1	26,79	6,99	4,50	90	Aman
Roof 2	26,94	0,65	3,20	64	Aman



Gambar 4.9 Gambar diagram perpindahan antar lantai berdasarkan SNI 1726-2002

4.8.6 Evaluasi simpangan antar lantai (Δs) berdasarkan SNI 1726-2012

Simpangan antar lantai (Δs) pada saat kondisi kinerja batas ultimit struktur bangunan dibatasi dengan, Δs_{ijin} , dimana bangunan termasuk dalam kategori resiko II seperti di bawah ini.

$$\Delta s_{ijin} = 0,025 \times h_{sx}$$

Keterangan:

h_{sx} adalah tinggi tingkat antar lantai.

Pada tabel 4.10 dan 4.11 berikut, merupakan hasil perhitungan simpangan antar lantai untuk arah-x dan arah-y berdasarkan kondisi kinerja batas ultimit, dapat dilihat pada Gambar 4.10 berdasarkan diagram perpindahan.

Tabel 4.10 Perhitungan simpangan antar lantai arah-x (2012)

Tingkat	Δs_{total}	Δs	h_{sx}	Δs_{ijin}	<i>kontrol</i>
	(mm)	(mm)	(m)	(mm)	$\Delta s < \Delta s_{ijin}$
L. Dasar	1,43	7,87	3,20	80	Aman
Lantai 1	12,08	58,58	4,50	112,5	Aman
Lantai 2	23,75	64,19	4,20	105	Aman
Lantai 3	30,49	37,04	3,30	82,5	Aman
Lantai 5	37,24	37,13	3,30	82,5	Aman
Lantai 6	43,31	33,41	3,30	82,5	Aman
Lantai 7	48,74	29,84	3,30	82,5	Aman
Lantai 8	53,96	28,69	3,60	90	Aman
Roof 1	59,12	28,38	4,50	112,5	Aman
Roof 2	62,86	20,58	3,20	80	Aman

Contoh perhitungan simpangan antar lantai:

- ✓ Nilai perpindahan lantai Δs_{total} dari SAP2000 yang didapat akibat kombinasi gaya gempa lantai 1 (δ_2) sebesar 12,08mm dan lantai 2 (δ_3) sebesar 23,75mm
- ✓ Hitung perpindahan di lantai 2, Δs dengan persamaan berikut:

$$\Delta s = \frac{C_d \times (\delta_3 - \delta_2)}{I}$$

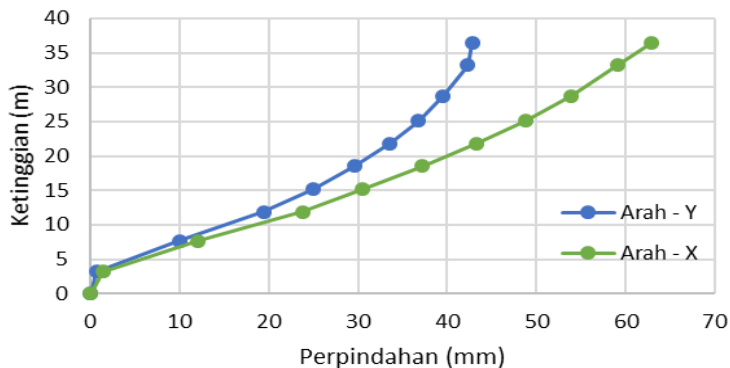
$$\Delta s = \frac{5,5 \times (23,75 - 12,08)}{1,0}$$

$$\Delta s = 64,19 \text{ mm}$$

- ✓ Kontrol nilai perpindahan di lantai 2, yaitu:
 $105\text{mm} > 64,19 \text{ mm}$ (memenuhi)

Tabel 4.11 Perhitungan simpangan antar lantai arah-y (2012)

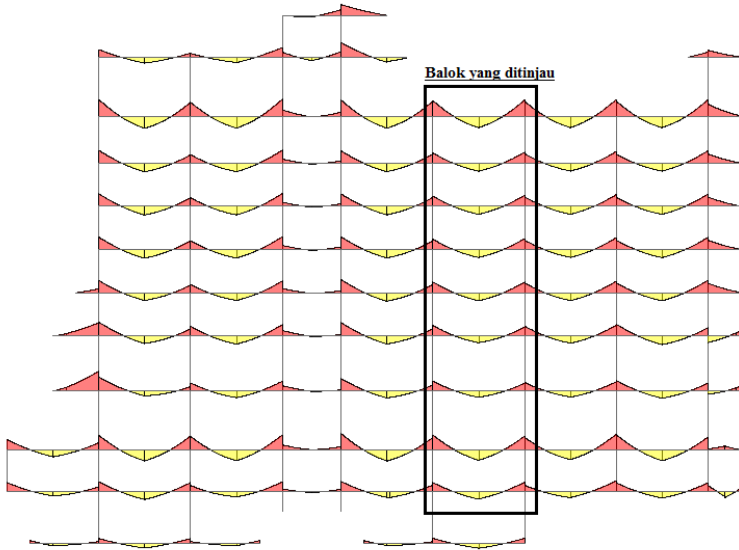
Tingkat	Δs_{total}	Δs	h_{sx}	Δs_{ijin}	kontrol
	(mm)	(mm)	(m)	(mm)	$\Delta s < \Delta s_{ijin}$
L. Dasar	0,65	3,60	3,20	80	Aman
Lantai 1	9,94	51,08	4,50	112,5	Aman
Lantai 2	19,42	52,11	4,20	105	Aman
Lantai 3	24,92	30,28	3,30	82,5	Aman
Lantai 5	29,62	25,83	3,30	82,5	Aman
Lantai 6	33,56	21,68	3,30	82,5	Aman
Lantai 7	36,77	17,64	3,30	82,5	Aman
Lantai 8	39,57	15,42	3,60	90	Aman
Roof 1	42,27	14,87	4,50	112,5	Aman
Roof 2	42,79	2,84	3,20	80	Aman



Gambar 4.10 Gambar diagram perpindahan antar lantai berdasarkan SNI 1726-2012

4.9 Evaluasi Gaya Dalam Elemen Balok

Dari pemodelan SAP2000 dengan berdasarkan SNI 1726-2002 dan 1726-2012 dapat mengetahui besar gaya dalam yang terjadi pada elemen struktur. Lokasi elemen balok yang akan di tinjau pada *grid-3* sesuai pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Tampak potongan gedung pada *grid 3* balok yang ditinjau

Hasil gaya dalam yang terjadi akibat kombinasi gravitasi, kombinasi gempa 2002, dan kombinasi gempa 2012 seperti pada tabel 4.12, 4.13, dan 4.14. Perbedaan dari hasil tersebut diperjelas dengan beberapa gambar diagram yaitu: terhadap *output* momen tumpuan serta lapangan, prosentase perbedaan gempa 2002 dan gempa 2012 terhadap kombinasi gravitasi, dan prosentase perbedaan gempa 2012 terhadap gempa 2002. Hasil perbedaan antara gempa 2002 dengan 2012 mengalami peningkatan sebesar 30% pada tumpuan dan 10% pada lapangan.

Tabel 4.12 Output gaya dalam akibat beban gravitasi terfaktor

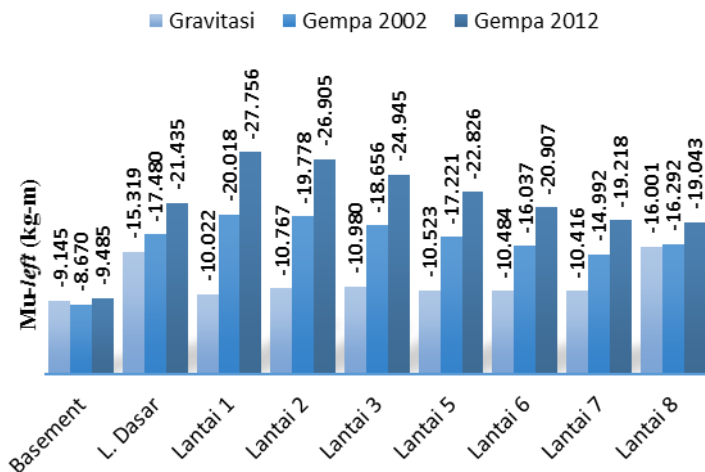
Lantai	Momen				
	Left (-)	Left (+)	Right (-)	Right (+)	Mid (+)
	kg-m	kg-m	kg-m	kg-m	kg-m
Basement	-9.145	0	-9.568	0	9.916
L. Dasar	-15.319	0	-14.048	0	13.481
Lantai 1	-10.022	0	-7.756	0	8.418
Lantai 2	-10.767	0	-8.947	0	8.797
Lantai 3	-10.980	0	-11.027	0	10.265
Lantai 5	-10.523	0	-11.403	0	10.159
Lantai 6	-10.484	0	-11.490	0	10.163
Lantai 7	-10.416	0	-11.496	0	10.100
Lantai 8	-16.001	0	-16.689	0	14.686

Tabel 4.13 Output gaya dalam akibat beban gempa terfaktor berdasarkan SNI 1726-2002

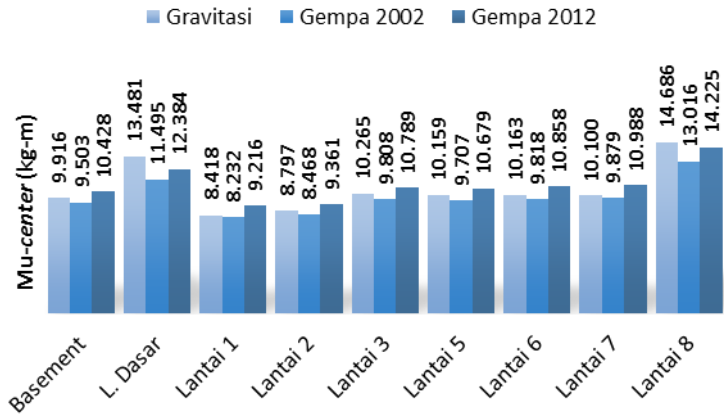
Lantai	Momen				
	Left (-)	Left (+)	Right (-)	Right (+)	Mid (+)
	kg-m	kg-m	kg-m	kg-m	kg-m
Basement	-8.670	0	-8.986	0	9.503
L. Dasar	-17.480	0	-16.444	0	11.495
Lantai 1	-20.018	5.375	-17.845	6.692	8.232
Lantai 2	-19.778	3.362	-18.061	4.462	8.468
Lantai 3	-18.656	1.741	-18.704	1.732	9.808
Lantai 5	-17.221	1.016	-18.039	468	9.707
Lantai 6	-16.037	0	-16.982	0	9.818
Lantai 7	-14.992	0	-15.961	0	9.879
Lantai 8	-16.292	0	-17.026	0	13.016

Tabel 4.14 Output gaya dalam akibat beban gempa terfaktor berdasarkan SNI 1726-2012

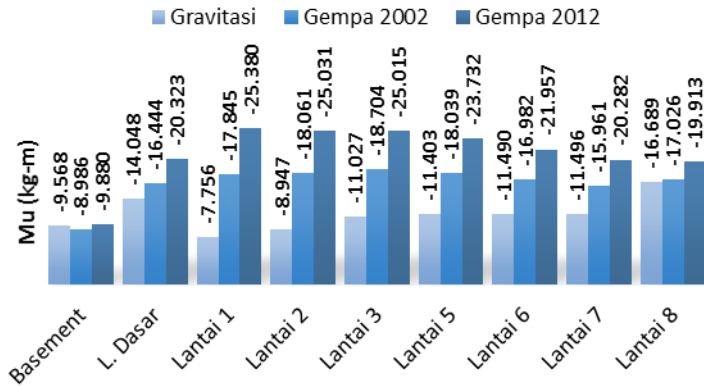
Lantai	Momen				
	Left (-)	Left (+)	Right (-)	Right (+)	Mid (+)
	kg-m	kg-m	kg-m	kg-m	kg-m
Basement	-9.485	0	-9.880	0	10.428
L. Dasar	-21.435	0	-20.323	3.635	12.384
Lantai 1	-27.756	13.167	-25.380	14.192	9.216
Lantai 2	-26.905	10.517	-25.031	11.413	9.361
Lantai 3	-24.945	8.059	-25.015	8.020	10.789
Lantai 5	-22.826	6.650	-23.732	6.138	10.679
Lantai 6	-20.907	4.782	-21.957	4.222	10.858
Lantai 7	-19.218	3.109	-20.282	2.516	10.988
Lantai 8	-19.043	0	-19.913	0	14.225



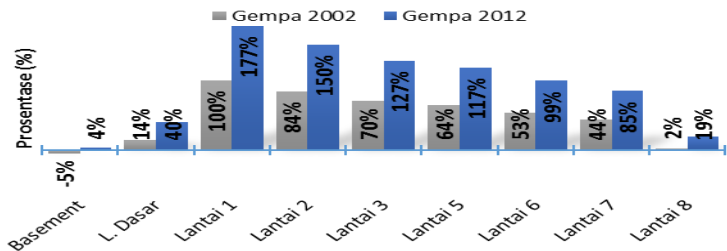
Gambar 4.12 Diagram momen pada tumpuan kiri antara gravitasi terfaktor, gempa terfaktor 2002 dan 2012



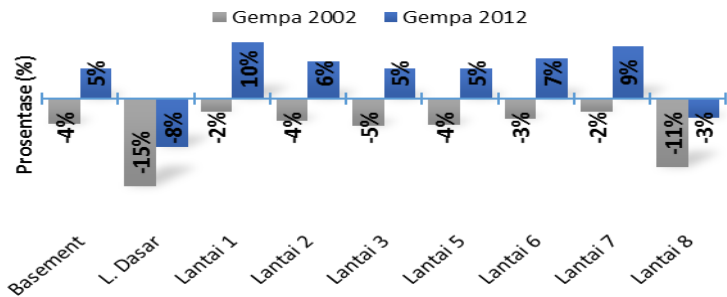
Gambar 4.13 Diagram momen pada daerah lapangan antara gravitasi terfaktor, gempa terfaktor 2002 dan 2012



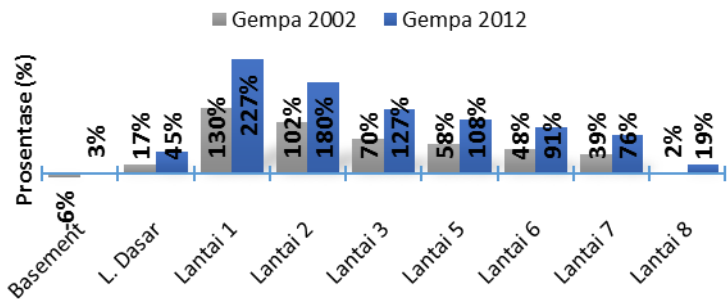
Gambar 4.14 Diagram momen pada tumpuan kanan antara gravitasi terfaktor, gempa terfaktor 2002 dan 2012



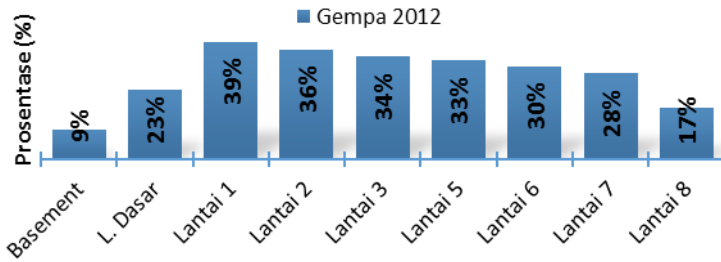
Gambar 4.15 Diagram prosentase momen pada tumpuan kiri antara SNI 1726-2002 dan 2012 terhadap gravitasi terfaktor



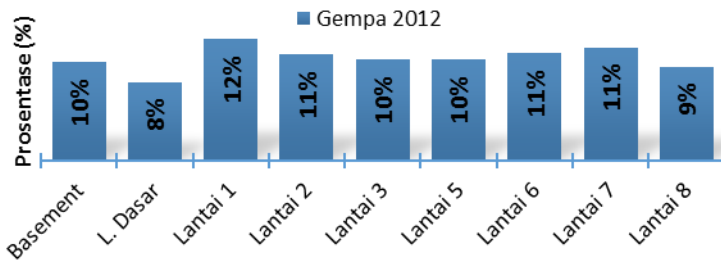
Gambar 4.16 Diagram prosentase momen daerah lapangan kiri antara SNI 1726-2002 dan 2012 terhadap gravitasi terfaktor



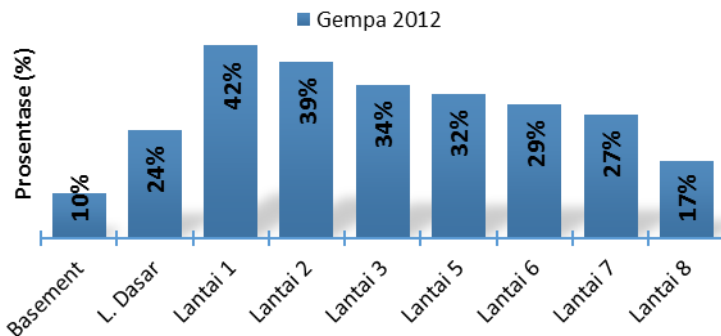
Gambar 4.17 Diagram prosentase momen daerah pada tumpuan kanan antara SNI 1726-2002 dan 2012 terhadap gravitasi terfaktor



Gambar 4.18 Diagram prosentase momen daerah tumpuan kiri SNI 1726-2012 terhadap SNI 1726-2002



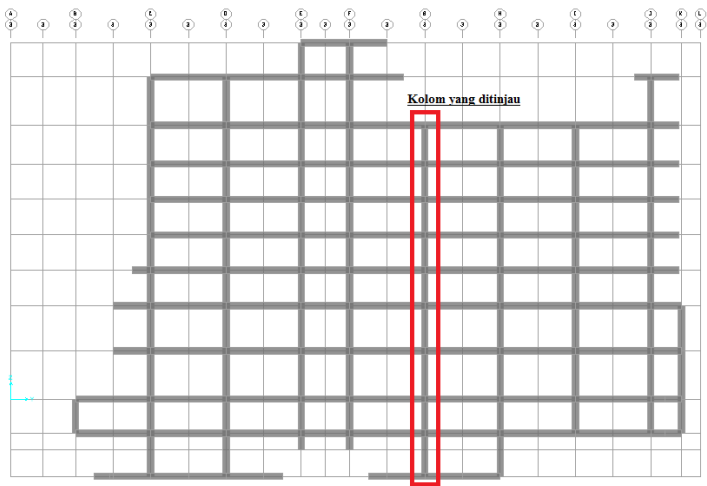
Gambar 4.19 Diagram prosentase momen daerah lapangan SNI 1726-2012 terhadap SNI 1726-2002



Gambar 4.20 Diagram prosentase momen daerah tumpuan kanan SNI 1726-2012 terhadap SNI 1726-2002

4.10 Evaluasi Gaya Dalam Elemen Kolom

Dari pemodelan SAP2000 dengan berdasarkan SNI 1726-2002 dan 1726-2012 dapat mengetahui besar gaya dalam yang terjadi pada elemen struktur. Lokasi elemen kolom yang akan di tinjau pada *grid-3-G* sesuai pada gambar 4.21. Pada tabel 4.15, 4.16, dan 4.17 merupakan rekapitulasi output gaya dalam yang ditinjau pada *grid-3-G*.



Gambar 4.21 Tampak potongan gedung pada *grid-3* kolom yang ditinjau

Tabel 4.15 Gaya dalam kolom akibat kombinasi gravitasi

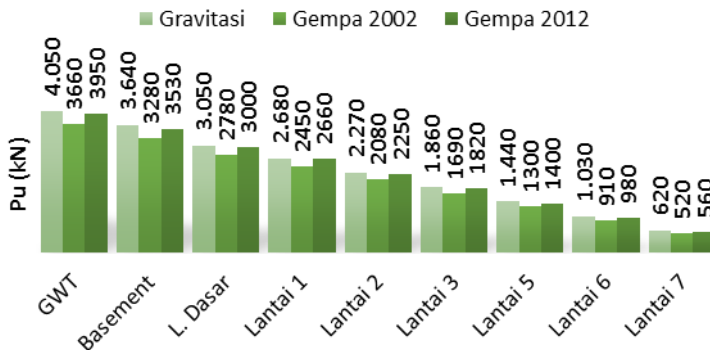
Lantai	P	Mx	My	P	Mx	My	Vu-x	Vu-y
	Bottom			Top				
	kN	kN-m	kN-m	kN	kN-m	kN-m		
GWT	4050	10	30	4020	20	50	30	10
Basement	3640	30	40	3620	10	60	40	20
L. Dasar	3050	20	120	3010	20	110	60	10
Lantai 1	2680	30	110	2640	30	100	60	20
Lantai 2	2270	10	110	2250	20	100	80	20
Lantai 3	1860	10	100	1830	10	100	80	10
Lantai 5	1440	10	110	1420	10	110	80	10
Lantai 6	1030	10	100	1010	10	90	70	10
Lantai 7	620	10	130	590	10	200	110	10

Tabel 4.16 Gaya dalam kolom akibat kombinasi gempa 2002

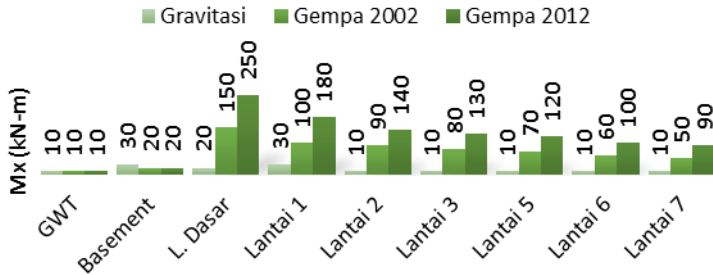
Lantai	P	Mx	My	P	Mx	My	Vu-x	Vu-y
	Bottom			Top				
	kN	kN-m	kN-m	kN	kN-m	kN-m		
GWT	3660	10	30	3620	20	40	30	10
Basement	3280	20	80	3250	50	40	50	20
L. Dasar	2780	150	260	2740	140	70	130	70
Lantai 1	2450	100	250	2420	150	90	140	60
Lantai 2	2080	90	200	2050	120	60	150	70
Lantai 3	1690	80	190	1660	100	70	150	70
Lantai 5	1300	70	180	1270	90	70	140	60
Lantai 6	910	60	160	880	70	60	120	50
Lantai 7	520	50	180	490	70	140	150	40

Tabel 4.17 Gaya dalam kolom akibat kombinasi gempa 2012

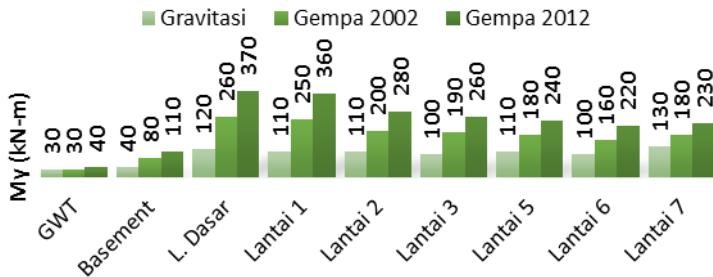
Lantai	P	Mx	My	P	Mx	My	Vu-x	Vu-y
	Bottom			Top				
	kN	kN-m	kN-m	kN	kN-m	kN-m		
GWT	3950	10	40	3910	20	40	40	10
Basement	3530	20	110	3500	80	40	60	30
L. Dasar	3000	250	370	2960	210	150	170	110
Lantai 1	2660	180	360	2620	230	190	190	110
Lantai 2	2250	140	280	2220	180	140	210	110
Lantai 3	1820	130	260	1790	160	120	200	110
Lantai 5	1400	120	240	1370	140	110	190	90
Lantai 6	980	100	220	950	110	90	160	80
Lantai 7	560	90	230	520	120	140	190	70



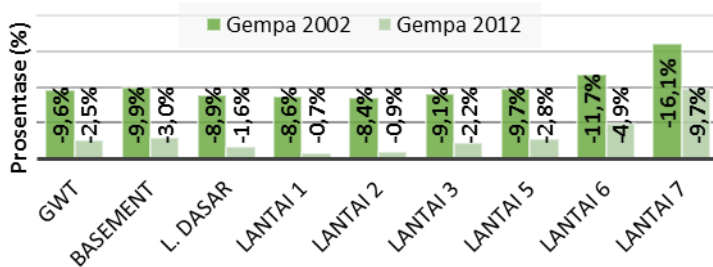
Gambar 4.22 Diagram aksial (Pu) antara akibat gravitasi terfaktor, gempa 2002 dan gempa 2012



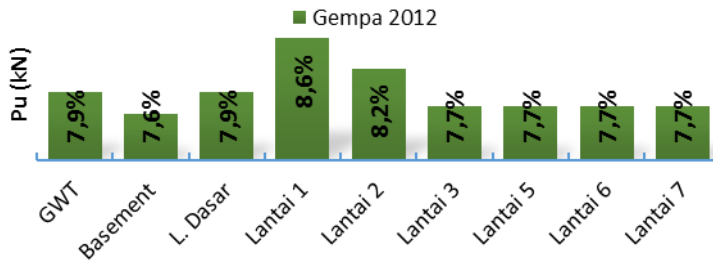
Gambar 4.23 Diagram Momen (M_x) antara akibat gravitasi terfaktor, gempa 2002 dan gempa 2012



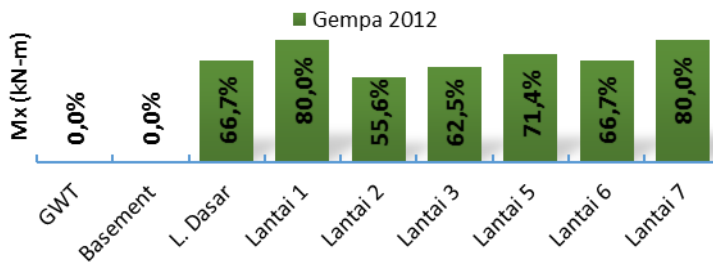
Gambar 4.24 Diagram Momen (M_y) antara akibat gravitasi terfaktor, gempa 2002 dan gempa 2012



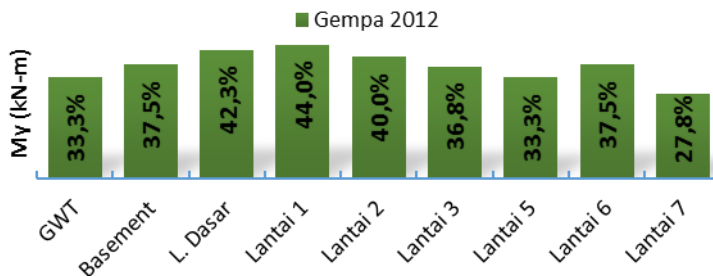
Gambar 4.25 Diagram prosentase perbedaan gaya aksial (P_u) antara gempa 2002 dan gempa 2012 terhadap beban gravitasi terfaktor



Gambar 4.26 Diagram prosentase perbedaan gaya aksial (P_u) akibat gempa 2012 terhadap gempa 2002



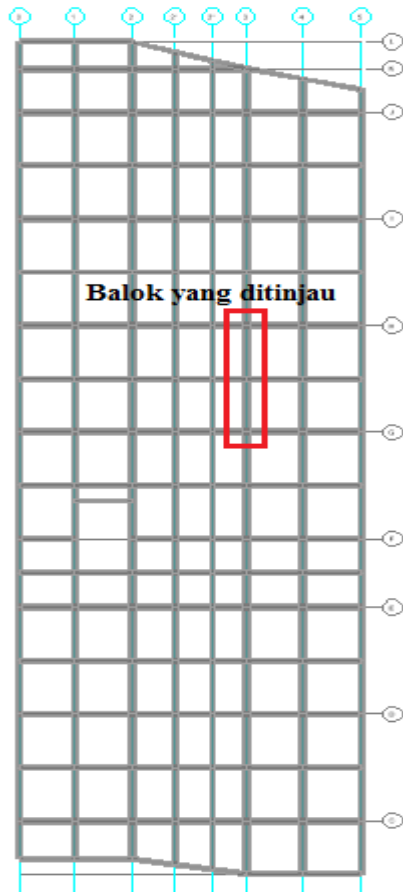
Gambar 4.27 Diagram prosentase perbedaan Momen (M_x) akibat gempa 2012 terhadap gempa 2002



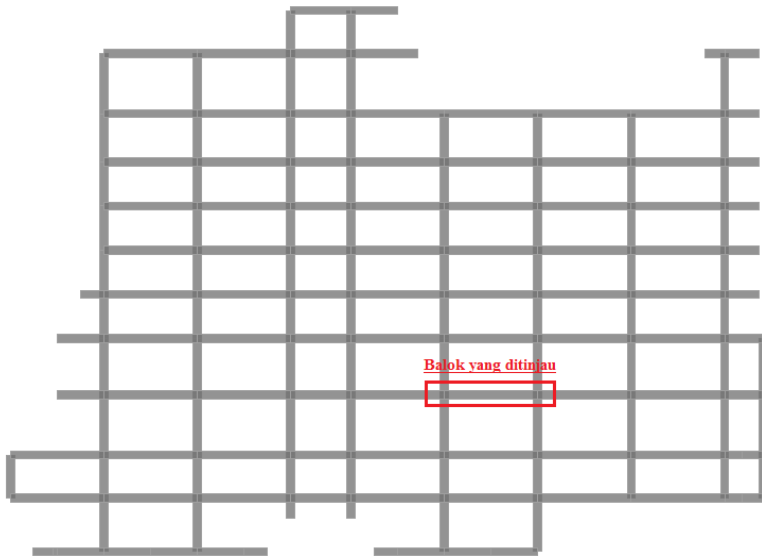
Gambar 4.28 Diagram prosentase perbedaan Momen (M_y) akibat gempa 2012 terhadap gempa 2002

4.11 Perhitungan tulangan balok berdasarkan output SNI 1726-2002

Pada sub-bab ini diberikan urain contoh untuk perhitungan desain kebutuhan baja tulangan pada elemen struktur balok. Contoh balok yang akan digunakan dalam perhitungan ini sesuai pada gambar 4.29 dan 4.30 dengan hasil output pemodelan struktur gaya dalam yang berdasarkan SNI 1726-2002.



Gambar 4.29 Denah lantai lokasi balok yang ditinjau pada lantai 1



Gambar 4.30 Tampak potongan *grid-3* lokasi balok yang ditinjau pada lantai 1

Data-data perencanaan balok:

<input type="checkbox"/> Tipe balok	: B1
<input type="checkbox"/> Bentang balok	L_{balok} : 7000 mm
<input type="checkbox"/> Dimensi balok	b_{balok} : 400 mm
<input type="checkbox"/> Dimensi balok	h_{balok} : 600 mm
<input type="checkbox"/> Dimensi kolom	b_{kolom} : 500 mm
<input type="checkbox"/> Dimensi kolom	h_{kolom} : 700 mm
<input type="checkbox"/> Kuat tekan beton	f_c' : 30 Mpa
<input type="checkbox"/> Kuat leleh tulangan lentur	f_y : 400 Mpa
<input type="checkbox"/> Kuat leleh tulangan geser	f_{yv} : 400 Mpa
<input type="checkbox"/> Kuat leleh tulangan torsi	f_{yt} : 400 Mpa
<input type="checkbox"/> Diameter tulangan lentur	D_{lentur} : 19 mm
<input type="checkbox"/> Diameter tulangan geser	\emptyset_{geser} : 10 mm
<input type="checkbox"/> Diameter tulangan torsi	\emptyset_{torsi} : 16 mm

- ❑ Jarak spasi tulangan sejajar $S_{sejajar} : 25 \text{ mm}$
(SNI 2847-2013 Pasal 9.6.1)
- ❑ Jarak spasi tulangan antar lapis $S_{antarlapis} : 25 \text{ mm}$
(SNI 2847-2013 Pasal 9.6.2)
- ❑ Tebal selimut beton $t_{decking} : 40 \text{ mm}$
(SNI 2847-2013 Pasal 7.7.1)
- ❑ Faktor reduksi kekuatan lentur $\phi_{lentur} : 0,90$
(SNI 2847-2013 Pasal 9.3.2.1)
- ❑ Faktor reduksi kekuatan geser $\phi_{geser} : 0,75$
(SNI 2847-2013 Pasal 9.3.2.3)
- ❑ Faktor reduksi kekuatan torsi $\phi_{torsi} : 0,75$
(SNI 2847-2013 Pasal 9.3.2.3)
- ❑ Faktor modifikasi beton $\lambda : 1,00$
(SNI 2847-2013 Pasal 8.6.1)
- ❑ Faktor $\beta_1 = 0,85 - 0,05 \times \frac{(f_c' - 28)}{7} : 0,836$
(SNI 2847-2013 Pasal 10.2.7.3)

➤ **Perhitungan luasan tulangan rencana**

Tulangan lentur:

$$\begin{aligned}
 A_{SD\text{-lentur}} &= 0,25 \times \pi \times (D_{lentur})^2 \\
 &= 0,25 \times \pi \times (19)^2 \\
 &= 283,53 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan geser:

$$\begin{aligned}
 A_{S\phi_{geser}} &= 2 \times 0,25 \times \pi \times (\phi_{geser})^2 \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times (10)^2 \\
 &= 157,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan torsi:

$$\begin{aligned}
 A_{S\phi_{torsi}} &= 0,25 \times \pi \times (\phi_{torsi})^2 \\
 &= 0,25 \times \pi \times (16)^2 \\
 &= 201,06 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

➤ **Perhitungan rasio tulangan**

$$\begin{aligned}\rho_{balance} &= \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30 \times 0,836}{400} \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,032\end{aligned}$$

(SNI 2847-2013 Pasal 10.3.2)

$$\begin{aligned}\rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400} \\ &= 0,0035\end{aligned}$$

(SNI 2847-2013 Pasal 10.5.1)

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= \frac{\left(0,003 + \frac{f_y}{E_s} \right)}{0,008 \times \rho_{balance}} \\ &= \frac{\left(0,003 + \frac{400}{200000} \right)}{0,008 \times 0,032} \\ &= 0,020\end{aligned}$$

(SNI 2847-2013 Pasal 10.3.4)

$$\rho_{max} = 0,025$$

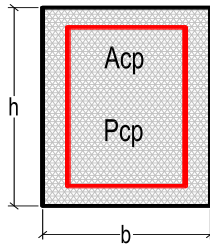
(SNI 2847-2013 Pasal 21.5.2.1)

➤ **Perhitungan dimensi efektif balok**

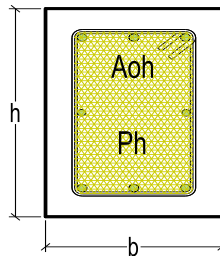
Tinggi efektif balok dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}d &= h_{balok} - t_{decking} - \phi_{geser} - \frac{1}{2} \phi_{lentur} \\ &= 600 - 40 - 10 - 19/2 = 540,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}d' &= t_{decking} + \phi_{geser} + \frac{1}{2} \phi_{tul lentur} \\ &= 40 + 10 + 19/2 \\ &= 59,5 \text{ mm}\end{aligned}$$



Gambar 4.31 Luasan Acp dan keliling Pcp



Gambar 4.32 Luasan Aoh dan keliling Ph

Luasan penampang dibatasi sisi luar :

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \times h \\ &= 400 \times 600 \\ &= 240.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi sisi luar :

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b + h) \\ &= 2 \times (400 + 600) \\ &= 2000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luasan penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2t_{decking} - \phi_{geser}) \times (h_{balok} - 2t_{decking} - \phi_{geser}) \\ &= (400 - 2 \times 40 - 10) \times (600 - 2 \times 40 - 10) \\ &= 158.100 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times ((b_{balok} - 2t_{decking} - \phi_{geser}) + (h_{balok} - 2t_{decking} - \phi_{geser})) \\ &= (2 \times (400 - 2 \times 40 - 10) + (600 - 2 \times 40 - 10)) \\ &= 1.640 \text{ mm} \end{aligned}$$

➤ **Cek syarat komponen struktur penahan gempa**

Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari 4 kali tinggi efektifnya (SNI 2847:2013 pasal 21.5.2)

$$L_n = 7000 - (2 \times \frac{600}{2})$$

$$= 6400 \text{ mm}$$

$$4d = 4 (537,5)$$

$$= 2150 \text{ mm}$$

$$L_n > 4d \rightarrow \text{memenuhi syarat}$$

Lebar komponen tidak boleh kurang dari 0,3 h dan 250 mm (SNI 2847:2013 pasal 21.5.3)

$$b_{\text{balok}} = 400 \text{ mm} > 250 \text{ mm} \rightarrow \text{Oke}$$

$$b_{\text{balok}} = 0,3 \times h_{\text{balok}}$$

$$= 0,3 \times 600$$

$$= 180 \text{ mm} < 400 \text{ mm} \rightarrow \text{Oke}$$

➤ **Output gaya dalam elemen balok yang ditinjau**

Hasil output gaya dalam dari analisa struktur menggunakan software SAP2000 yang ditinjau akibat kombinasi beban gravitasi dan beban gempa sesuai pada tabel 4.13 adalah sebagai berikut.

<i>Mu-left</i> (-)	= 200.181.400	N-mm	(Ultimate Earthquake)
<i>Mu-left</i> (+)	= 53.748.900	N-mm	(Ultimate Earthquake)
<i>Mu-right</i> (-)	= 178.451.400	N-mm	(Ultimate Earthquake)
<i>Mu-right</i> (+)	= 66.923.400	N-mm	(Ultimate Earthquake)
<i>Mu-mid</i> (+)	= 84.178.300	N-mm	(Ultimate Earthquake)
<i>Vu-left</i>	= 71.642	N	(Ultimate 1,2DL+1,0LL)
<i>Vu-right</i>	= 64.367	N	(Ultimate 1,2DL+1,0LL)
<i>Vu-mid-left</i>	= 57.701	N	(Ultimate 1,2DL+1,0LL)
<i>Vu-mid-right</i>	= 50.426	N	(Ultimate 1,2DL+1,0LL)
<i>Pu</i>	= 5.808	N	(Ultimate Earthquake)
<i>Tu</i>	= 19.160.900	N-mm	(Ultimate Earthquake)

1. Perhitungan tulangan torsi

Momen torsi ultimate sebagai berikut :

$$T_u = 19.160.900 \text{ N-mm}$$

Momen torsi nominal :

$$T_n = \frac{T_u}{\phi_{torsi}} = \frac{19.160.900}{0,75}$$

$$= 25.547.867 \text{ N-mm}$$

Cek pengaruh tulangan torsi :

$$T_{u_{min}} = 0,083 \times \sqrt{f_c} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

(SNI 2847-2013 Pasal 11.5.1)

$$T_{u_{min}} = 0,083 \times \sqrt{30} \times \left(\frac{240.000^2}{2.000} \right)$$

$$T_{u_{min}} = 9.819.570 \text{ N-mm}$$

Kontrol pengaruh momen torsi :

Jika, $T_{u_{min}} < T_u \rightarrow$ maka membutuhkan tulangan torsi.

Jika, $T_{u_{min}} > T_u \rightarrow$ maka tulangan torsi diabaikan.

Jadi, kondisi saat ini $T_{u_{min}} < T_u$ membutuhkan tulangan torsi.

Kontrol kecukupan dimensi penampang menahan torsi :

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_{balok} \times d$$

(SNI 2847-2013 Pasal 11.2.1.1)

$$V_c = 0,17 \times 1,0 \times \sqrt{30} \times 400 \times 540,5$$

$$V_c = 201.310 \text{ N}$$

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_{balok} \times d} \right)^2 + \left(\frac{T_u \times Ph}{1,7 \times A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi_{torsi} \times \left(\frac{V_c}{b_{balok} \times d} + \left(0,66 \sqrt{f_c'} \right) \right)$$

(SNI 2847-2013 Pasal 11.5.3.1)

Dimana nilai $V_u = 71.642 \text{ N}$, maka:

$$\sqrt{\left(\frac{71.642}{400 \times 540,5} \right)^2 + \left(\frac{19.160.900 \times 1.640}{1,7 \times (158.100)^2} \right)^2} \leq 0,75 \times \left(\frac{201.310}{400 \times 540,5} + \left(0,66 \sqrt{30} \right) \right)$$

$$0,921 \leq 3,409$$

Pada persamaan diatas telah sesuai dengan yang disyaratkan, maka penampang balok mencukupi untuk menahan momen torsi dan penampang tidak perlu diperbesar.

Penambahan luasan tulangan geser akibat terjadi torsi:

Di mana nilai : $A_o = 0,85 \times A_{oh}$

$$A_o = 0,85 \times 158.100$$

$$A_o = 134.385 \text{ mm}^2$$

Maka,

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_y \times \cot \theta}$$

(SNI 2847-2013 Pasal 11.5.3.6)

$$\frac{A_t}{s} = \frac{25.547.867}{2 \times 134.385 \times 400 \times \cot 45}$$

$$\frac{A_t}{s} = 0,238 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (satu kaki)}$$

Luasan tambahan torsi transversal untuk tulangan geser sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2 ialah :

$$2 \frac{A_t}{s} = 2 \times 0,238$$

$$2 \frac{A_t}{s} = 0,476 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (dua kaki)}$$

Penambahan tulangan longitudinal akibat terjadinya torsi:

$$A_s - \text{torsi}_{\text{perlu}} = \frac{A_t}{s} \times Ph \times \frac{f_{yt}}{f_y} \times \cot^2 \theta$$

(SNI 2847-2013 Pasal 11.5.3.7)

$$A_s - \text{torsi}_{\text{perlu}} = 0,238 \times 1.640 \times \frac{400}{400} \times \cot^2 45$$

$$A_s - \text{torsi}_{\text{perlu}} = 389,72 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan torsi minimum:

Di mana:

$$\frac{At}{s} \min = \frac{0,175 \times b_{balok}}{fyt}$$

(SNI 2847-2013 Pasal 11.5.5.3)

$$\frac{At}{s} \min = \frac{0,175 \times 400}{400} = 0,175 \text{ mm}^2/\text{mm} > 0,238 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Jadi, $\frac{At}{s} \text{ pakai} = 0,230 \text{ mm}^2/\text{mm}$

$$As - torsi_{\min} = \frac{0,42 \times \sqrt{fc'} \times Acp}{fy} - \left(\frac{At}{s} \text{ pakai} \right) \times Ph \times \frac{fyt}{fy}$$

(SNI 2847-2013 Pasal 11.5.5.3)

$$As - torsi_{\min} = \frac{0,42 \times \sqrt{30} \times 240.000}{400} - \left((0,238) \times 1.640 \times \frac{400}{400} \right)$$

$$As - torsi_{\min} = 990,54 \text{ mm}^2$$

Kontrol tulangan torsi yang digunakan:

$$As - torsi_{\text{perlu}} < As - torsi_{\min} \rightarrow \text{Maka gunakan } As - torsi_{\min}$$

$$As - torsi_{\text{perlu}} > As - torsi_{\min} \rightarrow \text{Maka gunakan } As - torsi_{\text{perlu}}$$

Jadi, kebutuhan tulangan torsi yang dipakai:

$$As - torsi_{\text{pakai}} = 990,54 \text{ mm}^2$$

Distribusi tulangan torsi pada balok, luasan tulangan torsi untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok, sebagai berikut:

$$As - torsi_{\text{tiap-sisi}} = \frac{As - torsi}{3}$$

$$As - torsi_{\text{tiap-sisi}} = \frac{990,54}{3}$$

$$As - torsi_{\text{tiap-sisi}} = 330,18 \text{ mm}^2$$

Pada sisi atas dan bawah penampang balok masing-masing akan mendapatkan tambahan luasan tulangan dari $A_s\text{-}torsi_{\text{tiap-sisi}}$. Pada sisi badan penampang balok (*web*), jumlah tulangan torsi longitudinal yang dipasang, sebagai berikut:

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{A_s\text{-}torsi_{\text{tiap-sisi}}}{A_{s\phi_{torsi}}}$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{330,18}{201,06} = 1,64 \approx 2bh$$

Maka, dipasang tulangan torsi **2-D16** pada badan (*web*) balok.

2. Perhitungan tulangan lentur balok

➤ Daerah tumpuan kiri

$$Mu\text{-}left(-) = 193.131.300 \text{ N-mm}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mu_{\text{left}(-)}}{\phi_{\text{lentur}}} = \frac{200.181.400}{0,90} \\ &= 222.423.778 \text{ N-mm} \end{aligned}$$

Perencanaan garis netral (X)

$$\begin{aligned} X_{\text{balance}} &= \frac{600}{(600 + f_y)} \times d \\ &= \frac{600}{(600 + 400)} \times 540,5 \end{aligned}$$

$$= 324,30 \text{ mm}$$

$$X_{\text{max}} = 0,75 \times X_{\text{balance}}$$

$$= 243,225 \text{ mm}$$

$$X_{\text{min}} = d'$$

$$= 59,50 \text{ mm}$$

$$X_{\text{rencana}} = 0,8 \times X_{\text{max}}$$

$$= 0,8 \times 243,225 \text{ mm}$$

$$= 190 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times f_c' \times b_{balok} \times \beta_1 \times X_{rencana} \\ &= 0,85 \times 30 \times 400 \times 0,836 \times 190 \\ &= 1.620.168 \text{ N} \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur tunggal akibat gaya tarik

$$Asc = \frac{Cc'}{f_y} = \frac{1.620.168}{400} = 4.050,42 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} Mnc &= Asc \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_{rencana}}{2} \right) \\ &= 4.050,42 \times 400 \times \left(540,5 - \frac{0,836 \times 190}{2} \right) \\ &= 747.027.061 \text{ N-mm} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan lentur akibat momen nominal:

$Mns > 0 \rightarrow$ maka, perlu tulangan lentur rangkap

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka, tidak perlu tulangan lentur rangkap

$$\begin{aligned} Mns &= Mn - Mnc \\ &= 222.423.778 - 747.027.061 \\ &= -524.603.284 \text{ N-mm} \end{aligned}$$

Jadi, kondisi saat ini $Mns < 0$ maka tidak diperlukan perhitungan tulangan rangkap.

Perencanaan tulangan lentur tunggal:

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Mn}{0,85 \times f_y \times b_{balok} \times d^2}} \right) \\ \rho_{perlu} &= \frac{0,85 \times 30}{400} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 222.423.778}{0,85 \times 400 \times 400 \times 540,5^2}} \right) \\ \rho_{perlu} &= 0,005 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\rho_{perlu} \geq \rho_{min} = 0,0035 \rightarrow \text{pakai } \rho_{perlu}$$

$$\rho_{perlu} \leq \rho_{max} = 0,0200 \rightarrow \text{pakai } \rho_{perlu}$$

Maka, digunakan ρ_{perlu}

Luasan tulangan lentur tarik pakai:

$$As_{perlu} = (\rho_{perlu} \times b_{balok} \times d) + As_{torsi \text{ tiap-sisi}}$$

$$As_{perlu} = (0,005 \times 400 \times 540,5) + 330,18$$

$$As_{perlu} = 1070,35 + 330,18 = 1400,53 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik (pasang sisi atas)

$$\text{Jumlah tulangan } (n) = \frac{As_{perlu}}{As_{Dlentur}} = \frac{1.400,53}{283,53} = 4,94 \approx 5bh$$

Maka, jumlah tulangan lentur tarik pada tumpuan kiri dipasang sebesar **5-D19**.

Kontrol spasi bersih tulangan lentur:

$$S \geq S_{sejajar} \rightarrow \text{pasang tulangan 1 lapis}$$

$$S < S_{sejajar} \rightarrow \text{pasang tulangan lebih dari 1 lapis}$$

$$S = \frac{b_{balok} - (2 \times t_{decking}) - (2 \times \phi_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 19)}{5 - 1}$$

$$S = 51,25 \text{ mm}$$

Karena, $S \leq S_{sejajar}$ maka dipasang tulangan 1 lapis

Kontrol kuat momen nominal tarik terpasang

$$d'_{aktual} = t_{decking} + d_{geser} + 0,5 \times D_{lentur} + \left[(n_{lapis} - 1) \times (D_{lentur} + S_{sejajar}) \right]$$

$$d'_{aktual} = 40 + 10 + 0,5 \times 19 + \left[(1 - 1) \times (19 + 25) \right]$$

$$d'_{aktual} = 59,50 \text{ mm}$$

$$d_{aktual} = h_{balok} - d'_{aktual} = 600 - 59,50 = 540,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\phi Mn_{pasang} &= \phi_{lentur} \times As \times fy \times \left(d_{aktual} - \frac{As \times fy}{2 \times 0,85 \times f_c' \times b_{balok}} \right) \\ \phi Mn_{pasang} &= 0,9 \times 5 \times 283,53 \times 400 \times \left(540,5 - \frac{5 \times 283,53 \times 400}{2 \times 0,85 \times 30 \times 400} \right) \\ \phi Mn_{pasang} &= 261.659.997 \text{ N-mm} \\ \phi Mn_{pasang} &\geq Mu_{left(-)} = 200.181.400 \text{ N-mm} \rightarrow \text{Oke}\end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur tekan pakai:

$$Mu_{left(+)} = 53.748.900 \text{ N-mm}$$

$$As'_{perlu} = \frac{Mu_{left(+)}}{\phi_{lentur} \times fy \times j \times d} + As_{torsi_{tiap-sisi}}$$

$$As'_{perlu} = \frac{53.748.900}{0,9 \times 400 \times 0,85 \times 540,5} + 330,18$$

$$As'_{perlu} = 655,16 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan (pasang sisi bawah):

$$\text{Jumlah tulangan } (n) = \frac{As'_{perlu}}{As_{dia-lentur}} = \frac{655,16}{283,53} = 2,31bh \approx 3bh$$

Maka, jumlah tulangan lentur tekan pada tumpuan kiri dipasang sebesar **3-D19**

Kontrol spasi bersih tulangan lentur:

$$S \geq S_{sejajar} \rightarrow \text{pasang tulangan 1 lapis}$$

$$S < S_{sejajar} \rightarrow \text{pasang tulangan lebih dari 1 lapis}$$

$$S = \frac{b_{balok} - (2 \times t_{decking}) - (2 \times \phi_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1}$$

$$S = 121,5 \text{ mm}$$

Karena, $S \leq S_{sejajar}$ maka dipasang tulangan 1 lapis

Kontrol kuat momen nominal tekan terpasang

$$d'_{aktual} = t_{decking} + d_{geser} + 0,5 \times D_{lentur} + \left[(n_{lapis} - 1) \times (D_{lentur} + S_{sejajar}) \right]$$

$$d'_{aktual} = 40 + 10 + 0,5 \times 19 + \left[(1 - 1) \times (19 + 25) \right]$$

$$d'_{aktual} = 59,50 \text{ mm}$$

$$d_{aktual} = h_{balok} - d'_{aktual} = 600 - 59,50 = 540,5 \text{ mm}$$

$$\phi Mn_{pasang} = \phi_{lentur} \times As \times fy \times \left(d_{aktual} - \frac{As \times fy}{2 \times 0,85 \times f_c \times b_{balok}} \right)$$

$$\phi Mn_{pasang} = 0,9 \times 3 \times 283,53 \times 400 \times \left(540,5 - \frac{3 \times 283,53 \times 400}{2 \times 0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$\phi Mn_{pasang} = 160.400.720 \text{ N-mm}$$

$$\phi Mn_{pasang} \geq Mu_{left(+)} = 53.748.900 \text{ N-mm} \rightarrow \text{Oke}$$

$\phi Mn_{pasang} \geq Mu$, maka perencanaan tulangan yang direncanakan sudah memenuhi.

Cek Syarat SRPMK Untuk Kekuatan Lentur Balok

SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2.2 mensyaratkan bahwa kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari $\frac{1}{2}$ kuat lentur negatifnya pada muka tersebut.

$$\frac{1}{2} \phi Mn(-) < \phi Mn(+)$$

$$\frac{1}{2} \phi Mn(-) = \frac{1}{2} 261.659.997 < \phi Mn(+) = 160.400.720 \text{ Nmm}$$

$$\frac{1}{2} \phi Mn(-) = 130.829.998 \text{ Nmm} < \phi Mn(+) = 160.400.720 \text{ Nmm}$$

Memenuhi syarat sesuai SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2.2.

➤ Daerah tumpuan kanan

$$Mu_{right(-)} = 178.451.400 \text{ N-mm}$$

$$Mn = \frac{Mu_{right(-)}}{\phi_{lentur}} = \frac{178.451.400}{0,90} \\ = 198.279.333 \text{ N-mm}$$

Kontrol tulangan lentur akibat momen nominal:

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka, perlu tulangan lentur rangkap

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka, tidak perlu tulangan lentur rangkap

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 198.279.333 - 747.027.061 \\ &= -548.747.728,11 \text{ N-mm} \end{aligned}$$

Jadi, kondisi saat ini $M_{ns} < 0$ maka tidak diperlukan perhitungan tulangan rangkap.

Perencanaan tulangan lentur tunggal:

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times M_n}{0,85 \times f_y \times b_{balok} \times d^2}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times 30}{400} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 198.279.333}{0,85 \times 400 \times 400 \times 540,5^2}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = 0,004$$

Kontrol:

$$\rho_{perlu} \geq \rho_{\min} = 0,0035 \rightarrow \text{pakai } \rho_{perlu}$$

$$\rho_{perlu} \leq \rho_{\max} = 0,0200 \rightarrow \text{pakai } \rho_{perlu}$$

Maka, digunakan ρ_{perlu}

Luasan tulangan lentur tarik pakai:

$$A_{s_{perlu}} = (\rho_{perlu} \times b_{balok} \times d) + A_{s - torsi_{tiap-sisi}}$$

$$A_{s_{perlu}} = (0,004 \times 400 \times 540,5) + 330,18$$

$$A_{s_{perlu}} = 949,84 + 330,18 = 1.280,02 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik (pasang sisi atas)

$$\text{Jumlah tulangan } (n) = \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{s_{Dlentur}}} = \frac{1.280,02}{283,53} = 4,51 \approx 5bh$$

Maka, jumlah tulangan lentur tarik pada tumpuan kiri dipasang sebesar **5-D19**.

Kontrol spasi bersih tulangan lentur:

$S \geq S_{sejajar} \rightarrow$ pasang tulangan 1 lapis

$S < S_{sejajar} \rightarrow$ pasang tulangan lebih dari 1 lapis

$$S = \frac{b_{balok} - (2 \times t_{decking}) - (2 \times \phi_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 19)}{5 - 1}$$

$$S = 51,25 \text{ mm}$$

Karena, $S \leq S_{sejajar}$ maka dipasang tulangan 1 lapis

Kontrol kuat momen nominal tarik terpasang

$$d'_{aktual} = t_{decking} + d_{geser} + 0,5 \times D_{lentur} + \left[(n_{lapis} - 1) \times (D_{lentur} + S_{sejajar}) \right]$$

$$d'_{aktual} = 40 + 10 + 0,5 \times 19 + \left[(1 - 1) \times (19 + 25) \right]$$

$$d'_{aktual} = 59,50 \text{ mm}$$

$$d_{aktual} = h_{balok} - d'_{aktual} = 600 - 59,50 = 540,5 \text{ mm}$$

$$\phi Mn_{pasang} = \phi_{lentur} \times As \times fy \times \left(d_{aktual} - \frac{As \times fy}{2 \times 0,85 \times f_c' \times b_{balok}} \right)$$

$$\phi Mn_{pasang} = 0,9 \times 5 \times 283,53 \times 400 \times \left(540,5 - \frac{5 \times 283,53 \times 400}{2 \times 0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$\phi Mn_{pasang} = 261.659.997 \text{ N-mm}$$

$$\phi Mn_{pasang} \geq Mu_{right(-)} = 178.451.400 \text{ N-mm} \rightarrow \text{Oke}$$

Luasan tulangan lentur tekan pakai:

$$Mu_{right(+)} = 66.923.400 \text{ N-mm}$$

$$As'_{perlu} = \frac{Mu_{right(+)}}{\phi_{lentur} \times fy \times j \times d} + As - torsi_{tiap-sisi}$$

$$As'_{perlu} = \frac{66.923.400}{0,9 \times 400 \times 0,85 \times 540,5} + 330,18$$

$$As'_{perlu} = 734,81 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan (pasang sisi bawah):

$$\text{Jumlah tulangan } (n) = \frac{As'_{\text{perlu}}}{As_{\text{dia-lentur}}} = \frac{734,81}{283,53} = 2,59bh \approx 3bh$$

Maka, jumlah tulangan lentur tekan pada tumpuan kiri dipasang sebesar **3-D19**

Kontrol spasi bersih tulangan lentur:

$S \geq S_{\text{sejajar}} \rightarrow$ pasang tulangan 1 lapis

$S < S_{\text{sejajar}} \rightarrow$ pasang tulangan lebih dari 1 lapis

$$S = \frac{b_{\text{balok}} - (2 \times t_{\text{decking}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1}$$

$$S = 121,5 \text{ mm}$$

Karena, $S \leq S_{\text{sejajar}}$ maka dipasang tulangan 1 lapis

Kontrol kuat momen nominal tekan terpasang

$$d'_{\text{aktual}} = t_{\text{decking}} + d_{\text{geser}} + 0,5 \times D_{\text{lentur}} + \left[(n_{\text{lapis}} - 1) \times (D_{\text{lentur}} + S_{\text{sejajar}}) \right]$$

$$d'_{\text{aktual}} = 40 + 10 + 0,5 \times 19 + \left[(1 - 1) \times (19 + 25) \right]$$

$$d'_{\text{aktual}} = 59,50 \text{ mm}$$

$$d_{\text{aktual}} = h_{\text{balok}} - d'_{\text{aktual}} = 600 - 59,50 = 540,5 \text{ mm}$$

$$\phi Mn_{\text{pasang}} = \phi_{\text{lentur}} \times As \times fy \times \left(d_{\text{aktual}} - \frac{As \times fy}{2 \times 0,85 \times fc' \times b_{\text{balok}}} \right)$$

$$\phi Mn_{\text{pasang}} = 0,9 \times 3 \times 283,53 \times 400 \times \left(540,5 - \frac{3 \times 283,53 \times 400}{2 \times 0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$\phi Mn_{\text{pasang}} = 160.400.720 \text{ N-mm}$$

$$\phi Mn_{\text{pasang}} \geq Mu_{\text{left}(+)} = 66.923.400 \text{ N-mm} \rightarrow \text{Oke}$$

$\phi Mn_{\text{pasang}} \geq Mu$, maka perencanaan tulangan yang direncanakan sudah memenuhi.

Cek Syarat SRPMK Untuk Kekuatan Lentur Balok

SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2.2 mensyaratkan bahwa kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari $\frac{1}{2}$ kuat lentur negatifnya pada muka tersebut.

$$\frac{1}{2} \phi Mn(-) < \phi Mn(+)$$

$$\frac{1}{2} \phi Mn(-) = \frac{1}{2} 261.659.997 < \phi Mn(+) = 160.400.720 \text{ Nmm}$$

$$\frac{1}{2} \phi Mn(-) = 130.829.998 \text{ Nmm} < \phi Mn(+) = 160.400.720 \text{ Nmm}$$

Memenuhi syarat sesuai SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2.2.

➤ Daerah lapangan

$$Mu_{mid(+)} = 84.178.300 \text{ N-mm}$$

$$Mn = \frac{Mu_{mid(+)}}{\phi_{lentur}} = \frac{84.178.300}{0,9}$$

$$= 93.531.444 \text{ N-mm}$$

Kontrol tulangan lentur akibat momen nominal:

$Mns > 0 \rightarrow$ maka, perlu tulangan lentur rangkap

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka, tidak perlu tulangan lentur rangkap

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 93.531.444 - 747.027.061$$

$$= -653.495.617,00 \text{ N-mm}$$

Jadi, kondisi saat ini $Mns < 0$ maka tidak diperlukan perhitungan tulangan rangkap.

Perencanaan tulangan lentur tunggal:

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Mn}{0,85 \times f_y \times b_{balok} \times d^2}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times 30}{400} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 91.997.778}{0,85 \times 400 \times 400 \times 540,5^2}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = 0,002$$

Kontrol:

$$\rho_{perlu} < \rho_{min} = 0,0035 \rightarrow \text{pakai } \rho_{min}$$

Maka, digunakan ρ_{min}

Luasan tulangan lentur tarik pakai:

$$As_{perlu} = (\rho_{\min} \times b_{balok} \times d) + As_{torsi_{tiap-sisi}}$$

$$As_{perlu} = (0,0035 \times 400 \times 540,5) + 330,18$$

$$As_{perlu} = 756,70 + 330,18 = 1.086,88 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik (pasang sisi atas)

$$\text{Jumlah tulangan } (n) = \frac{As_{perlu}}{As_{Dlentur}} = \frac{1.086,88}{283,53} = 3,84 \approx 4bh$$

Maka, jumlah tulangan lentur tarik pada tumpuan kiri dipasang sebesar **4-D19**.

Kontrol spasi bersih tulangan lentur:

$S \geq S_{sejajar} \rightarrow$ pasang tulangan 1 lapis

$S < S_{sejajar} \rightarrow$ pasang tulangan lebih dari 1 lapis

$$S = \frac{b_{balok} - (2 \times t_{decking}) - (2 \times \phi_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 19)}{4 - 1}$$

$$S = 76,67 \text{ mm}$$

Karena, $S \leq S_{sejajar}$ maka dipasang tulangan 1 lapis

Kontrol kuat momen nominal tarik terpasang

$$d'_{aktual} = t_{decking} + d_{geser} + 0,5 \times D_{lentur} + \left[(n_{lapis} - 1) \times (D_{lentur} + S_{sejajar}) \right]$$

$$d'_{aktual} = 40 + 10 + 0,5 \times 19 + \left[(1 - 1) \times (19 + 25) \right]$$

$$d'_{aktual} = 59,50 \text{ mm}$$

$$d_{aktual} = h_{balok} - d'_{aktual} = 600 - 59,50 = 540,5 \text{ mm}$$

$$\phi Mn_{pasang} = \phi_{lentur} \times As \times fy \times \left(d_{aktual} - \frac{As \times fy}{2 \times 0,85 \times f_c' \times b_{balok}} \right)$$

$$\phi Mn_{pasang} = 0,9 \times 4 \times 283,53 \times 400 \times \left(540,5 - \frac{4 \times 283,53 \times 400}{2 \times 0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$\phi Mn_{pasang} = 211.597.812 \text{ N-mm}$$

$$\phi Mn_{pasang} \geq Mu_{right(-)} = 84.178.300 \text{ N-mm} \rightarrow \text{Oke}$$

Kapasitas minimum momen positif dan momen negatif:

SNI beton pasal 21.5.2.1 dan 21.5.2.2 mengharuskan sekurang-kurangnya ada dua batang tulangan yang dipasang secara menerus, dan juga mensyaratkan baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari $\frac{1}{4}$ kuat lentur terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom tersebut.

$$\phi Mn_{\text{terbesar}} = 261.659.997 \text{ Nmm}$$

$$\frac{1}{4} \phi Mn_{\text{terbesar}} = 65.414.999 \text{ Nmm}$$

Luasan tulangan lentur tekan pakai:

$$Mu_{\text{mid}(-)} = 65.414.999 \text{ N-mm}$$

$$As'_{\text{perlu}} = \frac{Mu_{\text{mid}(+)}}{\phi_{\text{lentur}} \times fy \times j \times d} + As - torsi_{\text{tiap-sisi}}$$

$$As'_{\text{perlu}} = \frac{65.414.999}{0,9 \times 400 \times 0,85 \times 540,5} + 330,18$$

$$As'_{\text{perlu}} = 730,07 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan (pasang sisi bawah):

$$\text{Jumlah tulangan } (n) = \frac{As'_{\text{perlu}}}{As_{\text{dia-lentur}}} = \frac{730,07}{283,53} = 2,57bh \approx 3bh$$

Maka, jumlah tulangan lentur tekan pada tumpuan kiri dipasang sebesar **3-D19**

Kontrol spasi bersih tulangan lentur:

$$S \geq S_{\text{sejajar}} \rightarrow \text{pasang tulangan 1 lapis}$$

$$S < S_{\text{sejajar}} \rightarrow \text{pasang tulangan lebih dari 1 lapis}$$

$$S = \frac{b_{balok} - (2 \times t_{decking}) - (2 \times \phi_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{2 - 1}$$

$$S = 243 \text{ mm}$$

Karena, $S \leq S_{sejajar}$ maka dipasang tulangan 1 lapis

Kontrol kuat momen nominal tekan terpasang

$$d'_{aktual} = t_{decking} + d_{geser} + 0,5 \times D_{lentur} + \left[(n_{lapis} - 1) \times (D_{lentur} + S_{sejajar}) \right]$$

$$d'_{aktual} = 40 + 10 + 0,5 \times 19 + \left[(1 - 1) \times (19 + 25) \right]$$

$$d'_{aktual} = 59,50 \text{ mm}$$

$$d_{aktual} = h_{balok} - d'_{aktual} = 600 - 59,50 = 540,5 \text{ mm}$$

$$\phi Mn_{pasang} = \phi_{lentur} \times As \times fy \times \left(d_{aktual} - \frac{As \times fy}{2 \times 0,85 \times f_c' \times b_{balok}} \right)$$

$$\phi Mn_{pasang} = 0,9 \times 3 \times 283,53 \times 400 \times \left(540,5 - \frac{3 \times 283,53 \times 400}{2 \times 0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$\phi Mn_{pasang} = 160.400.720 \text{ N-mm}$$

$$\phi Mn_{pasang} \geq Mu_{mid(-)} = 65.414.999 \text{ N-mm} \rightarrow \text{Oke}$$

Cek Syarat SRPMK Untuk Kekuatan Lentur Balok

SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2.2 mensyaratkan bahwa kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari $\frac{1}{2}$ kuat lentur negatifnya pada muka tersebut.

$$\frac{1}{2} \phi Mn(-) < \phi Mn(+)$$

$$\frac{1}{2} \phi Mn(-) = \frac{1}{2} 211.597.812 < \phi Mn(+) = 160.400.720 \text{ Nmm}$$

$$\frac{1}{2} \phi Mn(-) = 105.798.906 \text{ Nmm} < \phi Mn(+) = 160.400.720 \text{ Nmm}$$

Memenuhi syarat sesuai SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2.2.

➤ **Perhitungan Tulangan Geser Balok**

Gaya geser desain yang digunakan untuk menentukan jarak dan luas tulangan transversal ditentukan oleh nilai terbesar dari hasil analisis struktur atau dari hasil peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat dihasilkan di muka-muka *joints* di setiap ujung komponen struktur.

☑ **Perhitungan Probable Moment Capacities (Mpr)**

Pada SNI beton 2847:2013 pasal 21.5.4.1 mengisyaratkan bahwa geser rencana akibat gempa pada balok dihitung dengan mengasumsi sendi plastis terbentuk diujung-ujung balok dengan tegangan tulangan lentur balok mencapai 1,25 fy dan faktor reduksi kuat lentur $\phi = 1$.

- Mpr Tumpuan Kiri Negatif (Mpr-1)

$$\begin{aligned} M_{pr-1} &= A_s \times 1,25 f_y \times \left(d_{aktual} - \frac{A_s \times 1,25 f_y}{2 \times 0,85 \times f_c' \times b_{balok}} \right) \\ &= 5 \times 283,53 \times 1,25 \times 400 \times \left(540,5 - \frac{5 \times 283,53 \times 1,25 \times 400}{2 \times 0,85 \times 30 \times 400} \right) \\ &= 358.490.850 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Mpr Tumpuan Kiri Positif (Mpr-2)

$$\begin{aligned} M_{pr-2} &= A_s \times 1,25 f_y \times \left(d_{aktual} - \frac{A_s \times 1,25 f_y}{2 \times 0,85 \times f_c' \times b_{balok}} \right) \\ &= 3 \times 283,53 \times 1,25 \times 400 \times \left(540,5 - \frac{3 \times 283,53 \times 1,25 \times 400}{2 \times 0,85 \times 30 \times 400} \right) \\ &= 221.005.485 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Mpr Tumpuan Kanan Negatif (Mpr-3)

$$\begin{aligned} M_{pr-3} &= A_s \times 1,25 f_y \times \left(d_{aktual} - \frac{A_s \times 1,25 f_y}{2 \times 0,85 \times f_c' \times b_{balok}} \right) \\ &= 5 \times 283,53 \times 1,25 \times 400 \times \left(540,5 - \frac{5 \times 283,53 \times 1,25 \times 400}{2 \times 0,85 \times 30 \times 400} \right) \\ &= 358.490.850 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Mpr Tumpuan Kanan positif (Mpr-4)

$$\begin{aligned}
 Mpr_{-4} &= A_s \times 1,25 f_y \times \left(d_{aktual} - \frac{A_s \times 1,25 f_y}{2 \times 0,85 \times f_c \times b_{balok}} \right) \\
 &= 3 \times 283,53 \times 1,25 \times 400 \times \left(540,5 - \frac{3 \times 283,53 \times 1,25 \times 400}{2 \times 0,85 \times 30 \times 400} \right) \\
 &= 221.005.485 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

☑ Perhitungan Gaya Geser

- Struktur Bergoyang Ke Kiri

$$\begin{aligned}
 V_{\text{sway kiri}} &= \frac{Mpr_1 + Mpr_4}{Ln} \\
 &= \frac{358.490.850 + 221.005.485}{7000 - (500/2 \times 2)} \\
 &= 89.153 \text{ N} \\
 V_u \text{ total ujung kiri} &= V_{\text{sway kiri}} + V_{u\text{tumpuan kiri}} \\
 &= 89.153 + 71.642 \\
 &= 160.795 \text{ N (arah geser ke bawah)} \\
 V_u \text{ total ujung kanan} &= V_{\text{sway kiri}} - V_{u\text{tumpuan kanan}} \\
 &= 89.153 - 64.367 \\
 &= 24.786 \text{ N (arah geser ke atas)}
 \end{aligned}$$

- Struktur Bergoyang Ke Kanan

$$\begin{aligned}
 V_{\text{sway kanan}} &= \frac{Mpr_2 + Mpr_3}{Ln} \\
 &= \frac{221.005.485 + 358.490.850}{7000 - (500/2 \times 2)} \\
 &= 89.153 \text{ N} \\
 V_u \text{ total ujung kanan} &= V_{\text{sway kanan}} + V_{u\text{tumpuan kanan}} \\
 &= 89.153 + 64.367 \\
 &= 153.520 \text{ N (arah geser ke bawah)} \\
 V_u \text{ total ujung kiri} &= V_{\text{sway kanan}} - V_{u\text{tumpuan kiri}} \\
 &= 89.153 - 71.642 \\
 &= 17.511 \text{ N (arah geser ke atas)}
 \end{aligned}$$

☑ **Perhitungan Tulangan Geser**

Cek Syarat Senggang Untuk Tumpuan

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.2 kontribusi beton dalam menahan gaya geser (V_c) dapat diambil sama dengan 0 pada daerah sendi plastis apabila :

✓ Syarat 1 $\rightarrow V_{sway} > \frac{1}{2} V_u$ sepanjang bentang

✓ Syarat 2 $\rightarrow P_u < \frac{A_g f'_c}{20}$

Tabel 4.18 Gaya Geser di Muka Kolom Kiri dan Kanan

Arah Gerakan Gempa	V_{sway}	Vu total kiri		Vu total kanan	
		V_u	$1/2 V_u$	V_u	$1/2 V_u$
	N	N	N	N	N
Kiri	89.153	160.795	80.398	24.786	12.393
Kanan	89.153	17.511	8.756	153.520	76.760

Berdasarkan hasil tabel diatas dapat diketahui bahwa syarat 1 memenuhi. Pada perencanaan ini diketahui nilai $P_u = 5.808N$, sedangkan $A_g f'_c / 20 = 360.000N > P_u$. Dengan demikian, syarat 1 dan 2 memenuhi, maka dalam perencanaan tulangan geser dilakukan dengan tidak memperhitungkan kontribusi beton ($V_c=0$) disepanjang zona sendi plastis.

• **Daerah Tumpuan Kiri (sendi plastis)**

$$V_{u \text{ tumpuan max}} = 160.795 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{V_u}{\phi_{geser}} - V_c \\
 &= \frac{160.795}{0,75} - 0 \\
 &= 214.394 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol V_s sesuai SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.9

$$\begin{aligned} V_{s-max} &= \frac{2}{3} \sqrt{f_c} \times b_{balok} \times d \\ &= \frac{2}{3} \sqrt{30} \times 400 \times 540,5 \\ &= 781.556 \text{ N} \end{aligned}$$

OK, $V_s = 214.394 \text{ N} < V_{s-max} = 781.556 \text{ N}$. Syarat V_s memenuhi, maka penampang balok cukup menerima gaya geser rencana.

Kebutuhan tulangan geser:

$$\begin{aligned} \frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_{yv} \times d} + 2 \frac{A_t}{s} \\ &= \frac{214.394}{400 \times 540,5} + 0,476 \\ &= 0,992 + 0,476 \\ &= 1,467 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Kebutuhan spasi tulangan geser pada tumpuan:

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_{s\phi geser}}{A_v / s} \\ &= \frac{157,08}{1,467} \\ &= 107,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat spasi maksimum tulangan geser balok menurut SNI 2847:2013 ps 21.5.3(2):

$$\begin{aligned} S &\leq d/4 \\ &\leq 540,5/4 \\ &\leq 135 \text{ mm} \\ S &\leq 6 \text{ dia.tul memanjang terkecil} \\ &\leq 6 \times 19 \\ &\leq 114 \text{ mm} \\ S &\leq 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi, spasi tidak boleh kurang dari 107,1 mm.

Dari perhitungan jarak diatas digunakan spasi terkecil. Dengan demikian, tulangan sengkang di daerah sendi plastis menggunakan sengkang tertutup **2 kaki D10-100**. Sengkang pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan.

- **Daerah tumpuan kanan (sendi plastis)**

$$V_{u \text{ tumpuan max}} = 160.795 \text{ N}$$

Maka, akan sama seperti tumpuan kiri, diperlukan tulangan sengkang tertutup **2 kaki D10-100**.

- **Daerah lapangan (ujung zona sendi plastis)**

$$\begin{aligned} V_u &= V_{\text{sway}} + V_{u_{\text{mid}}} \\ &= 89.153 + 57.701 \\ &= 146.854 \text{ N} \end{aligned}$$

Terletak diujung zona sendi plastis ($2h$ dari muka kolom). Pada zona ini, kontribusi V_c dapat diperhitungkan.

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_{\text{balok}} \times d$$

(SNI 2847-2013 Pasal 11.2.1.1)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times 1,0 \times \sqrt{30} \times 400 \times 540,5 \\ V_c &= 201.310 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol kebutuhan tulangan geser :

$$V_s = \frac{V_u}{\phi_{\text{geser}}} - V_c$$

$$V_s = \frac{146.854}{0,75} - 201.310$$

$$V_s = -5.504,24 \text{ N}$$

(tidak diperlukan tulangan geser, digunakan tulangan geser minimum)

Kontrol V_s sesuai SNI 2847:2013 Pasal 11.4.6.1

$$\begin{aligned} V_s &< \phi_{geser} \times V_c \\ -5.504,24 \text{ N} &< 0,75 \times 201.310 \\ -5.504,24 \text{ N} &< 150.144 \text{ N} \\ V_s = -5.504,24 \text{ N} &< \phi_{geser} \times V_c = 150.144 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &< 0,5 \times \phi_{geser} \times V_c \\ -5.504,24 \text{ N} &< 0,5 \times 0,75 \times 201.310 \\ -5.504,24 \text{ N} &< 75.491 \text{ N} \\ V_s = -5.504,24 \text{ N} &< 0,5 \times \phi_{geser} \times V_c = 75.491 \text{ N} \end{aligned}$$

Dari kedua syarat diatas memenuhi. Jadi, digunakan tulangan geser minimum.

Kebutuhan tulangan geser minimum SNI 2847:2013 pasal 11.4.6.3:

$$\begin{aligned} \frac{A_v}{s} &= 0,062 \times \sqrt{f_c} \times \frac{b_{balok}}{f_{yv}} \\ \frac{A_v}{s} &= 0,062 \times \sqrt{30} \times \frac{400}{400} \\ \frac{A_v}{s} &= 0,340 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Namun nilai diatas tidak boleh kurang dari:

$$\begin{aligned} \frac{A_v}{s} &= 0,35 \times \frac{b_{balok}}{f_{yv}} \\ \frac{A_v}{s} &= 0,35 \times \frac{400}{400} \\ \frac{A_v}{s} &= 0,350 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Jadi, nilai $\frac{A_v}{s}$ yang digunakan ialah 0,350 mm²/mm

$$\begin{aligned}
 \frac{A_v}{s} \text{ perlu} &= \frac{A_v}{s} + 2 \frac{A_t}{s} \\
 &= 0,350 + 0,476 \\
 &= 0,826 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan spasi tulangan geser pada tumpuan:

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_s \phi_{geser}}{A_v / s} \\
 &= \frac{157,08}{0,826} \\
 &= 190,17 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat spasi tulangan geser minimum balok menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.3(4):

$$\begin{aligned}
 S &< d/2 \\
 &< 537,5/2 \\
 &< 268,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan jarak diatas digunakan spasi terkecil. Dengan demikian, tulangan sengkang minimum di daerah ujung sendi plastis menggunakan sengkang tertutup **2 kaki D10-175**.

B1 – LANTAI 1		
LEFT	CENTER	RIGHT
ST □ D10-100	ST □ D10-175	ST □ D10-100

Gambar 4.33 Detail isi tulangan balok yang ditinjau berdasarkan SNI 1726-2002

Tabel 4.19 Rekapitulasi jumlah kebutuhan tulangan pada balok tipe B1 tiap lantai berdasarkan SNI 1726-2002

Lantai	Left		Mid		Right		Torsi
	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	
Basement	3-D19	2-D19	2-D19	3-D19	3-D19	2-D19	0
L. Dasar	5-D19	3-D19	3-D19	4-D19	5-D19	3-D19	2-D16
Lantai 1	5-D19	3-D19	3-D19	4-D19	5-D19	3-D19	2-D16
Lantai 2	5-D19	3-D19	3-D19	4-D19	5-D19	3-D19	2-D16
Lantai 3	5-D19	3-D19	3-D19	4-D19	5-D19	3-D19	2-D16
Lantai 5	5-D19	3-D19	3-D19	4-D19	5-D19	3-D19	2-D16
Lantai 6	5-D19	3-D19	3-D19	4-D19	5-D19	3-D19	2-D16
Lantai 7	5-D19	3-D19	3-D19	4-D19	5-D19	3-D19	2-D16
Lantai 8	5-D19	3-D19	3-D19	5-D19	5-D19	3-D19	2-D16

Tabel 4.20 Rekapitulasi jumlah kebutuhan luas tulangan pada balok tipe B1 tiap lantai berdasarkan SNI 1726-2002

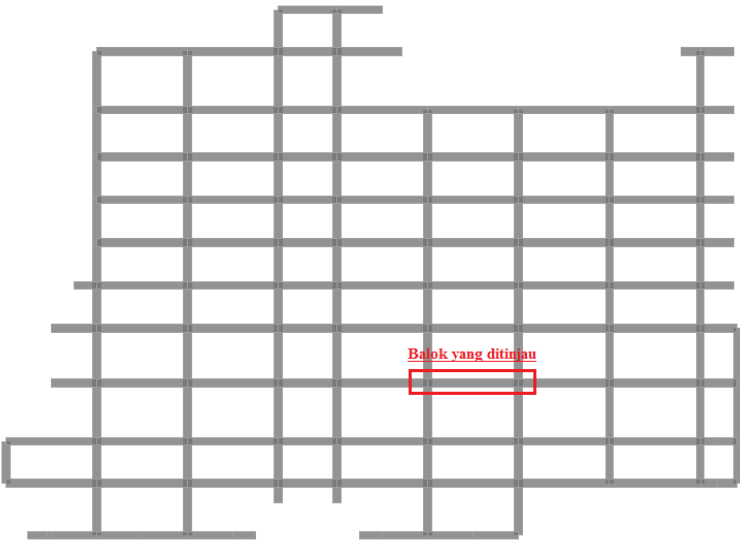
Lantai	Left		Mid		Right		Torsi
	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	
	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²
Basement	851	567	567	851	851	567	0
L. Dasar	1.418	851	851	1.134	1.418	851	402
Lantai 1	1.418	851	851	1.134	1.418	851	402
Lantai 2	1.418	851	851	1.134	1.418	851	402
Lantai 3	1.418	851	851	1.134	1.418	851	402
Lantai 5	1.418	851	851	1.134	1.418	851	402
Lantai 6	1.418	851	851	1.134	1.418	851	402
Lantai 7	1.418	851	851	1.134	1.418	851	402
Lantai 8	1.418	851	851	1.418	1.418	851	402

4.12 Perhitungan tulangan balok berdasarkan *output* SNI 1726-2012

Pada sub-bab ini diberikan urain contoh untuk perhitungan desain kebutuhan baja tulangan pada elemen struktur balok. Contoh balok yang akan digunakan dalam perhitungan ini sesuai pada gambar 4.34 dan 4.35 dengan hasil *output* pemodelan struktur gaya dalam yang berdasarkan SNI 1726-2012.



Gambar 4.34 Denah lantai lokasi balok yang ditinjau pada lantai 1



Gambar 4.35 Tampak potongan *grid-3* lokasi balok yang ditinjau pada lantai 1

Data-data penulangan balok:

<input type="checkbox"/> Tipe balok	: B1
<input type="checkbox"/> Bentang balok	L_{balok} : 7000 mm
<input type="checkbox"/> Dimensi balok	b_{balok} : 400 mm
<input type="checkbox"/> Dimensi balok	h_{balok} : 600 mm
<input type="checkbox"/> Dimensi kolom	$h_{\text{kolom}} = b_{\text{kolom}}$: 600 mm
<input type="checkbox"/> Dimensi kolom	h_{kolom} : 600 mm
<input type="checkbox"/> Kuat tekan beton	f_c' : 30 Mpa
<input type="checkbox"/> Kuat leleh tulangan lentur	f_y : 400 Mpa
<input type="checkbox"/> Kuat leleh tulangan geser	f_{yv} : 400 Mpa
<input type="checkbox"/> Kuat leleh tulangan torsi	f_{yt} : 400 Mpa
<input type="checkbox"/> Diameter tulangan lentur	D_{lentur} : 19 mm
<input type="checkbox"/> Diameter tulangan geser	$\varnothing_{\text{geser}}$: 10 mm
<input type="checkbox"/> Diameter tulangan torsi	$\varnothing_{\text{torsi}}$: 16 mm

- ❑ Jarak spasi tulangan sejajar $S_{sejajar} : 25 \text{ mm}$
(SNI 2847-2013 Pasal 9.6.1)
- ❑ Jarak spasi tulangan antar lapis $S_{antarlapis} : 25 \text{ mm}$
(SNI 2847-2013 Pasal 9.6.2)
- ❑ Tebal selimut beton $t_{decking} : 40 \text{ mm}$
(SNI 2847-2013 Pasal 7.7.1)
- ❑ Faktor reduksi kekuatan lentur $\phi_{lentur} : 0,90$
(SNI 2847-2013 Pasal 9.3.2.1)
- ❑ Faktor reduksi kekuatan geser $\phi_{geser} : 0,75$
(SNI 2847-2013 Pasal 9.3.2.3)
- ❑ Faktor reduksi kekuatan torsi $\phi_{torsi} : 0,75$
(SNI 2847-2013 Pasal 9.3.2.3)
- ❑ Faktor modifikasi beton $\lambda : 1,00$
(SNI 2847-2013 Pasal 8.6.1)
- ❑ Faktor $\beta_1 = 0,85 - 0,05 \times \frac{(f_c' - 28)}{7} : 0,836$
(SNI 2847-2013 Pasal 10.2.7.3)

➤ **Perhitungan luasan tulangan rencana**

Tulangan lentur:

$$\begin{aligned}
 A_{SD\text{-lentur}} &= 0,25 \times \pi \times (D_{lentur})^2 \\
 &= 0,25 \times \pi \times (19)^2 \\
 &= 283,53 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan geser:

$$\begin{aligned}
 A_{S\phi_{geser}} &= 2 \times 0,25 \times \pi \times (\phi_{geser})^2 \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times (10)^2 \\
 &= 157,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan torsi:

$$\begin{aligned}
 A_{S\phi_{torsi}} &= 0,25 \times \pi \times (\phi_{torsi})^2 \\
 &= 0,25 \times \pi \times (16)^2 \\
 &= 201,06 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

➤ **Perhitungan rasio tulangan**

$$\begin{aligned}\rho_{balance} &= \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30 \times 0,836}{400} \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,032\end{aligned}$$

(SNI 2847-2013 Pasal 10.3.2)

$$\begin{aligned}\rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400} \\ &= 0,0035\end{aligned}$$

(SNI 2847-2013 Pasal 10.5.1)

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= \frac{\left(0,003 + \frac{f_y}{E_s} \right)}{0,008 \times \rho_{balance}} \\ &= \frac{\left(0,003 + \frac{400}{200000} \right)}{0,008 \times 0,032} \\ &= 0,020\end{aligned}$$

(SNI 2847-2013 Pasal 10.3.4)

$$\rho_{max} = 0,025$$

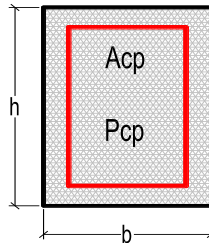
(SNI 2847-2013 Pasal 21.5.2.1)

➤ **Perhitungan dimensi efektif balok**

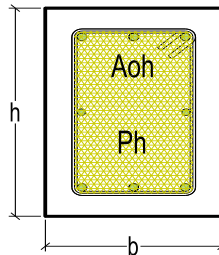
Tinggi efektif balok dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}d &= h_{balok} - t_{decking} - \phi_{geser} - \frac{1}{2} \phi_{lentur} \\ &= 600 - 40 - 10 - 19/2 = 540,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}d' &= t_{decking} + \phi_{geser} + \frac{1}{2} \phi_{tul lentur} \\ &= 40 + 10 + 19/2 \\ &= 59,5 \text{ mm}\end{aligned}$$



Gambar 4.36 Luasan Acp dan keliling Pcp



Gambar 4.37 Luasan Aoh dan keliling Ph

Luasan penampang dibatasi sisi luar :

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \times h \\ &= 400 \times 600 \\ &= 240.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi sisi luar :

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b + h) \\ &= 2 \times (400 + 600) \\ &= 2000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luasan penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2t_{decking} - \phi_{geser}) \times (h_{balok} - 2t_{decking} - \phi_{geser}) \\ &= (400 - 2 \times 40 - 10) \times (600 - 2 \times 40 - 10) \\ &= 158.100 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times ((b_{balok} - 2t_{decking} - \phi_{geser}) + (h_{balok} - 2t_{decking} - \phi_{geser})) \\ &= (2 \times (400 - 2 \times 40 - 10) + (600 - 2 \times 40 - 10)) \\ &= 1.640 \text{ mm} \end{aligned}$$

➤ **Cek syarat komponen struktur penahan gempa**

Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari 4 kali tinggi efektifnya (SNI 2847:2013 pasal 21.5.2)

$$L_n = 7000 - (2 \times \frac{600}{2})$$

$$= 6400 \text{ mm}$$

$$4d = 4 (537,5)$$

$$= 2150 \text{ mm}$$

$$L_n > 4d \rightarrow \text{memenuhi syarat}$$

Lebar komponen tidak boleh kurang dari 0,3 h dan 250 mm (SNI 2847:2013 pasal 21.5.3)

$$b_{balok} = 400 \text{ mm} > 250 \text{ mm} \rightarrow \text{Oke}$$

$$b_{balok} = 0,3 \times h_{balok}$$

$$= 0,3 \times 600$$

$$= 180 \text{ mm} < 400 \text{ mm} \rightarrow \text{Oke}$$

➤ **Output gaya dalam elemen balok yang ditinjau**

Hasil output gaya dalam dari analisa struktur menggunakan software SAP2000 yang ditinjau akibat kombinasi beban gravitasi dan beban gempa sesuai pada tabel 4.13 adalah sebagai berikut.

$$Mu\text{-}left (-) = 277.555.900 \text{ N-mm (Ultimate Earthquake)}$$

$$Mu\text{-}left (+) = 131.667.500 \text{ N-mm (Ultimate Earthquake)}$$

$$Mu\text{-}right (-) = 253.803.400 \text{ N-mm (Ultimate Earthquake)}$$

$$Mu\text{-}right (+) = 141.924.200 \text{ N-mm (Ultimate Earthquake)}$$

$$Mu\text{-}mid (+) = 92.159.200 \text{ N-mm (Ultimate Earthquake)}$$

$$Vu\text{-}left = 71.642 \text{ N (Ultimate 1,2DL+1,0LL)}$$

$$Vu\text{-}right = 64.367 \text{ N (Ultimate 1,2DL+1,0LL)}$$

$$Vu\text{-}mid\text{-}left = 57.701 \text{ N (Ultimate 1,2DL+1,0LL)}$$

$$Vu\text{-}mid\text{-}right = 50.426 \text{ N (Ultimate 1,2DL+1,0LL)}$$

$$Pu = 9.124 \text{ N (Ultimate Earthquake)}$$

$$Tu = 26.615.400 \text{ N-mm (Ultimate Earthquake)}$$

3. Perhitungan tulangan torsi

Momen torsi ultimate sebagai berikut :

$$Tu = 26.615.400 \text{ N-mm}$$

Momen torsi nominal :

$$T_n = \frac{T_u}{\phi_{torsi}} = \frac{26.615.400}{0,75}$$

$$= 35.487.200 \text{ N-mm}$$

Cek pengaruh tulangan torsi :

$$T_{u_{min}} = 0,083 \times \sqrt{f_c} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

(SNI 2847-2013 Pasal 11.5.1)

$$T_{u_{min}} = 0,083 \times \sqrt{30} \times \left(\frac{240.000^2}{2.000} \right)$$

$$T_{u_{min}} = 9.819.570 \text{ N-mm}$$

Kontrol pengaruh momen torsi :

Jika, $T_{u_{min}} < T_u \rightarrow$ maka membutuhkan tulangan torsi.

Jika, $T_{u_{min}} > T_u \rightarrow$ maka tulangan torsi diabaikan.

Jadi, kondisi saat ini $T_{u_{min}} < T_u$ membutuhkan tulangan torsi.

Kontrol kecukupan dimensi penampang menahan torsi :

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_{balok} \times d$$

(SNI 2847-2013 Pasal 11.2.1.1)

$$V_c = 0,17 \times 1,0 \times \sqrt{30} \times 400 \times 540,5$$

$$V_c = 201.310 \text{ N}$$

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_{balok} \times d} \right)^2 + \left(\frac{T_u \times Ph}{1,7 \times A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi_{torsi} \times \left(\frac{V_c}{b_{balok} \times d} + \left(0,66 \sqrt{f_c'} \right) \right)$$

(SNI 2847-2013 Pasal 11.5.3.1)

Dimana nilai $V_u = 71.642 \text{ N}$, maka:

$$\sqrt{\left(\frac{71.642}{400 \times 540,5} \right)^2 + \left(\frac{26.615.400 \times 1.640}{1,7 \times (158.100)^2} \right)^2} \leq 0,75 \times \left(\frac{201.310}{400 \times 540,5} + \left(0,66 \sqrt{30} \right) \right)$$

$$1,066 \leq 3,409$$

Pada persamaan diatas telah sesuai dengan yang disyaratkan, maka penampang balok mencukupi untuk menahan momen torsi dan penampang tidak perlu diperbesar.

Penambahan luasan tulangan geser akibat terjadi torsi:

Di mana nilai : $A_o = 0,85 \times A_{oh}$

$$A_o = 0,85 \times 158.100$$

$$A_o = 134.385 \text{ mm}^2$$

Maka,

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_y \times \cot \theta}$$

(SNI 2847-2013 Pasal 11.5.3.6)

$$\frac{A_t}{s} = \frac{35.487.200}{2 \times 134.385 \times 400 \times \cot 45}$$

$$\frac{A_t}{s} = 0,330 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (satu kaki)}$$

Luasan tambahan torsi transversal untuk tulangan geser sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2 ialah :

$$2 \frac{A_t}{s} = 2 \times 0,330$$

$$2 \frac{A_t}{s} = 0,660 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (dua kaki)}$$

Penambahan tulangan longitudinal akibat terjadinya torsi:

$$A_s - \text{torsi}_{\text{perlu}} = \frac{A_t}{s} \times Ph \times \frac{f_{yt}}{f_y} \times \cot^2 \theta$$

(SNI 2847-2013 Pasal 11.5.3.7)

$$A_s - \text{torsi}_{\text{perlu}} = 0,330 \times 1.640 \times \frac{400}{400} \times \cot^2 45$$

$$A_s - \text{torsi}_{\text{perlu}} = 541,35 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan torsi minimum:

Di mana:

$$\frac{A_t}{s}_{\min} = \frac{0,175 \times b_{\text{balok}}}{f_{yt}}$$

(SNI 2847-2013 Pasal 11.5.5.3)

$$\frac{A_t}{s}_{\min} = \frac{0,175 \times 400}{400} = 0,175 \text{ mm}^2/\text{mm} > 0,330 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Jadi, $\frac{A_t}{s}_{\text{pakai}} = 0,330 \text{ mm}^2/\text{mm}$

$$A_s - \text{torsi}_{\min} = \frac{0,42 \times \sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s}_{\text{pakai}} \right) \times Ph \times \frac{f_{yt}}{f_y}$$

(SNI 2847-2013 Pasal 11.5.5.3)

$$A_s - \text{torsi}_{\min} = \frac{0,42 \times \sqrt{30} \times 240.000}{400} - \left((0,330) \times 1.640 \times \frac{400}{400} \right)$$

$$A_s - \text{torsi}_{\min} = 838,92 \text{ mm}^2$$

Kontrol tulangan torsi yang digunakan:

$$A_s - \text{torsi}_{\text{perlu}} < A_s - \text{torsi}_{\min} \rightarrow \text{Maka gunakan } A_s - \text{torsi}_{\min}$$

$$A_s - \text{torsi}_{\text{perlu}} > A_s - \text{torsi}_{\min} \rightarrow \text{Maka gunakan } A_s - \text{torsi}_{\text{perlu}}$$

Jadi, kebutuhan tulangan torsi yang dipakai:

$$A_s - \text{torsi}_{\text{pakai}} = 838,92 \text{ mm}^2$$

Distribusi tulangan torsi pada balok, luasan tulangan torsi untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok, sebagai berikut:

$$A_s - \text{torsi}_{\text{tiap-sisi}} = \frac{A_s - \text{torsi}}{3}$$

$$A_s - \text{torsi}_{\text{tiap-sisi}} = \frac{838,92}{3}$$

$$A_s - \text{torsi}_{\text{tiap-sisi}} = 279,64 \text{ mm}^2$$

Pada sisi atas dan bawah penampang balok masing-masing akan mendapatkan tambahan luasan tulangan dari $A_s\text{-tors}$ *tiap-sisi*. Pada sisi badan penampang balok (*web*), jumlah tulangan torsi longitudinal yang dipasang, sebagai berikut:

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{A_s\text{-tors}_{\text{tiap-sisi}}}{A_{s\phi\text{torsi}}}$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{279,64}{201,06} = 1,39 \approx 2bh$$

Maka, dipasang tulangan torsi **2-D16** pada badan (*web*) balok.

4. Perhitungan tulangan lentur balok

➤ Daerah tumpuan kiri

$$Mu\text{-left}(-) = 277.555.900 \text{ N-mm}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mu_{\text{left}(-)}}{\phi_{\text{lentur}}} = \frac{277.555.900}{0,90} \\ &= 308.395.444 \text{ N-mm} \end{aligned}$$

Perencanaan garis netral (X)

$$\begin{aligned} X_{\text{balance}} &= \frac{600}{(600 + f_y)} \times d \\ &= \frac{600}{(600 + 400)} \times 540,5 \end{aligned}$$

$$= 324,30 \text{ mm}$$

$$X_{\text{max}} = 0,75 \times X_{\text{balance}}$$

$$= 243,225 \text{ mm}$$

$$X_{\text{min}} = d'$$

$$= 59,50 \text{ mm}$$

$$X_{\text{rencana}} = 0,8 \times X_{\text{max}}$$

$$= 0,8 \times 243,225 \text{ mm}$$

$$= 190 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times f_c' \times b_{balok} \times \beta_1 \times X_{rencana} \\ &= 0,85 \times 30 \times 400 \times 0,836 \times 190 \\ &= 1.620.168 \text{ N} \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur tunggal akibat gaya tarik

$$Asc = \frac{Cc'}{f_y} = \frac{1.620.168}{400} = 4.050,42 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} Mnc &= Asc \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_{rencana}}{2} \right) \\ &= 4.050,42 \times 400 \times \left(540,5 - \frac{0,836 \times 190}{2} \right) \\ &= 747.027.061 \text{ N-mm} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan lentur akibat momen nominal:

$Mns > 0 \rightarrow$ maka, perlu tulangan lentur rangkap

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka, tidak perlu tulangan lentur rangkap

$$\begin{aligned} Mns &= Mn - Mnc \\ &= 308.395.444 - 747.027.061 \\ &= -438.631.617 \text{ N-mm} \end{aligned}$$

Jadi, kondisi saat ini $Mns < 0$ maka tidak diperlukan perhitungan tulangan rangkap.

Perencanaan tulangan lentur tunggal:

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Mn}{0,85 \times f_y \times b_{balok} \times d^2}} \right) \\ \rho_{perlu} &= \frac{0,85 \times 30}{400} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 308.395.444}{0,85 \times 400 \times 400 \times 540,5^2}} \right) \\ \rho_{perlu} &= 0,007 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\rho_{perlu} \geq \rho_{\min} = 0,0035 \rightarrow \text{pakai } \rho_{perlu}$$

$$\rho_{perlu} \leq \rho_{\max} = 0,0200 \rightarrow \text{pakai } \rho_{perlu}$$

Maka, digunakan ρ_{perlu}

Luasan tulangan lentur tarik pakai:

$$As_{perlu} = (\rho_{perlu} \times b_{balok} \times d) + As_{torsi \text{ tiap-sisi}}$$

$$As_{perlu} = (0,007 \times 400 \times 540,5) + 279,64$$

$$As_{perlu} = 1.509,05 + 279,64 = 1.788,69 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik (pasang sisi atas)

$$\text{Jumlah tulangan } (n) = \frac{As_{perlu}}{As_{D_{lentur}}} = \frac{1.788,69}{283,53} = 6,30 \approx 7bh$$

Maka, jumlah tulangan lentur tarik pada tumpuan kiri dipasang sebesar **7-D19**.

Kontrol spasi bersih tulangan lentur:

$$S \geq S_{sejajar} \rightarrow \text{pasang tulangan 1 lapis}$$

$$S < S_{sejajar} \rightarrow \text{pasang tulangan lebih dari 1 lapis}$$

$$S = \frac{b_{balok} - (2 \times t_{decking}) - (2 \times \phi_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (7 \times 19)}{7 - 1}$$

$$S = 27,83 \text{ mm}$$

Karena, $S \leq S_{sejajar}$ maka dipasang tulangan 1 lapis

Kontrol kuat momen nominal tarik terpasang

$$d'_{aktual} = t_{decking} + d_{geser} + 0,5 \times D_{lentur} + \left[(n_{lapis} - 1) \times (D_{lentur} + S_{sejajar}) \right]$$

$$d'_{aktual} = 40 + 10 + 0,5 \times 19 + \left[(1 - 1) \times (19 + 25) \right]$$

$$d'_{aktual} = 59,50 \text{ mm}$$

$$d_{aktual} = h_{balok} - d'_{aktual} = 600 - 59,50 = 540,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\phi Mn_{pasang} &= \phi_{lentur} \times As \times fy \times \left(d_{aktual} - \frac{As \times fy}{2 \times 0,85 \times fc \times b_{balok}} \right) \\ \phi Mn_{pasang} &= 0,9 \times 7 \times 283,53 \times 400 \times \left(540,5 - \frac{7 \times 283,53 \times 400}{2 \times 0,85 \times 30 \times 400} \right) \\ \phi Mn_{pasang} &= 358.379.645 \text{ N-mm} \\ \phi Mn_{pasang} &\geq Mu_{left(-)} = 267.327.600 \text{ N-mm} \rightarrow \text{Oke}\end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur tekan pakai:

$$Mu_{left(+)} = 131.667.500 \text{ N-mm}$$

$$\begin{aligned}As'_{perlu} &= \frac{Mu_{left(+)}}{\phi_{lentur} \times fy \times j \times d} + As - torsi_{tiap-sisi} \\ As'_{perlu} &= \frac{131.667.500}{0,9 \times 400 \times 0,85 \times 540,5} + 279,64 \\ As'_{perlu} &= 1.075,73 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan (pasang sisi bawah):

$$\text{Jumlah tulangan } (n) = \frac{As'_{perlu}}{As_{dia-lentur}} = \frac{1.075,73}{283,53} = 3,79bh \approx 4bh$$

Maka, jumlah tulangan lentur tekan pada tumpuan kiri dipasang sebesar **4-D19**

Kontrol spasi bersih tulangan lentur:

$$S \geq S_{sejajar} \rightarrow \text{pasang tulangan 1 lapis}$$

$$S < S_{sejajar} \rightarrow \text{pasang tulangan lebih dari 1 lapis}$$

$$\begin{aligned}S &= \frac{b_{balok} - (2 \times t_{decking}) - (2 \times \phi_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1} \\ S &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 19)}{4 - 1}\end{aligned}$$

$$S = 121,5 \text{ mm}$$

Karena, $S \leq S_{sejajar}$ maka dipasang tulangan 1 lapis

Kontrol kuat momen nominal tekan terpasang

$$d'_{\text{aktual}} = t_{\text{decking}} + d_{\text{geser}} + 0,5 \times D_{\text{lentur}} + \left[(n_{\text{lapis}} - 1) \times (D_{\text{lentur}} + S_{\text{sejajar}}) \right]$$

$$d'_{\text{aktual}} = 40 + 10 + 0,5 \times 19 + \left[(1 - 1) \times (19 + 25) \right]$$

$$d'_{\text{aktual}} = 59,50 \text{ mm}$$

$$d_{\text{aktual}} = h_{\text{balok}} - d'_{\text{aktual}} = 600 - 59,50 = 540,5 \text{ mm}$$

$$\phi Mn_{\text{pasang}} = \phi_{\text{lentur}} \times As \times fy \times \left(d_{\text{aktual}} - \frac{As \times fy}{2 \times 0,85 \times f_c' \times b_{\text{balok}}} \right)$$

$$\phi Mn_{\text{pasang}} = 0,9 \times 4 \times 283,53 \times 400 \times \left(540,5 - \frac{4 \times 283,53 \times 400}{2 \times 0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$\phi Mn_{\text{pasang}} = 211.597.812 \text{ N-mm}$$

$$\phi Mn_{\text{pasang}} \geq Mu_{\text{left}(+)} = 124.119.600 \text{ N-mm} \rightarrow \text{Oke}$$

$\phi Mn_{\text{pasang}} \geq Mu$, maka perencanaan tulangan yang direncanakan sudah memenuhi.

Cek Syarat SRPMK Untuk Kekuatan Lentur Balok

SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2.2 mensyaratkan bahwa kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari $\frac{1}{2}$ kuat lentur negatifnya pada muka tersebut.

$$\frac{1}{2} \phi Mn(-) < \phi Mn(+)$$

$$\frac{1}{2} \phi Mn(-) = \frac{1}{2} 358.379.645 < \phi Mn(+) = 211.597.812 \text{ Nmm}$$

$$\frac{1}{2} \phi Mn(-) = 179.189.822 \text{ Nmm} < \phi Mn(+) = 211.597.812 \text{ Nmm}$$

Memenuhi syarat sesuai SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2.2.

➤ Daerah tumpuan kanan

$$Mu_{\text{-right}(-)} = 253.803.400 \text{ N-mm}$$

$$Mn = \frac{Mu_{\text{right}(-)}}{\phi_{\text{lentur}}} = \frac{253.803.400}{0,90} \\ = 282.003.778 \text{ N-mm}$$

Kontrol tulangan lentur akibat momen nominal:

$Mns > 0 \rightarrow$ maka, perlu tulangan lentur rangkap

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka, tidak perlu tulangan lentur rangkap

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 282.003.778 - 747.027.061$$

$$= -465.023.283,66 \text{ N-mm}$$

Jadi, kondisi saat ini $Mns < 0$ maka tidak diperlukan perhitungan tulangan rangkap.

Perencanaan tulangan lentur tunggal:

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Mn}{0,85 \times f_y \times b_{balok} \times d^2}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times 30}{400} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 189.020.000}{0,85 \times 400 \times 400 \times 540,5^2}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = 0,006$$

Kontrol:

$$\rho_{perlu} \geq \rho_{min} = 0,0035 \rightarrow \text{pakai } \rho_{perlu}$$

$$\rho_{perlu} \leq \rho_{max} = 0,0200 \rightarrow \text{pakai } \rho_{perlu}$$

Maka, digunakan ρ_{perlu}

Luasan tulangan lentur tarik pakai:

$$As_{perlu} = (\rho_{perlu} \times b_{balok} \times d) + As - torsi_{tiap-sisi}$$

$$As_{perlu} = (0,006 \times 400 \times 540,5) + 279,64$$

$$As_{perlu} = 1.372,73 + 279,64 = 1.652,36 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik (pasang sisi atas)

$$\text{Jumlah tulangan } (n) = \frac{As_{perlu}}{As_{Dlentur}} = \frac{1.652,36}{283,53} = 5,82 \approx 6bh$$

Maka, jumlah tulangan lentur tarik pada tumpuan kiri dipasang sebesar **6-D19**.

Kontrol spasi bersih tulangan lentur:

$S \geq S_{sejajar} \rightarrow$ pasang tulangan 1 lapis

$S < S_{sejajar} \rightarrow$ pasang tulangan lebih dari 1 lapis

$$S = \frac{b_{balok} - (2 \times t_{decking}) - (2 \times \phi_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (6 \times 19)}{6 - 1}$$

$$S = 37,20 \text{ mm}$$

Karena, $S \leq S_{sejajar}$ maka dipasang tulangan 1 lapis

Kontrol kuat momen nominal tarik terpasang

$$d'_{aktual} = t_{decking} + d_{geser} + 0,5 \times D_{lentur} + \left[(n_{lapis} - 1) \times (D_{lentur} + S_{sejajar}) \right]$$

$$d'_{aktual} = 40 + 10 + 0,5 \times 19 + \left[(1 - 1) \times (19 + 25) \right]$$

$$d'_{aktual} = 59,50 \text{ mm}$$

$$d_{aktual} = h_{balok} - d'_{aktual} = 600 - 59,50 = 540,5 \text{ mm}$$

$$\phi Mn_{pasang} = \phi_{lentur} \times As \times fy \times \left(d_{aktual} - \frac{As \times fy}{2 \times 0,85 \times fc' \times b_{balok}} \right)$$

$$\phi Mn_{pasang} = 0,9 \times 6 \times 283,53 \times 400 \times \left(540,5 - \frac{6 \times 283,53 \times 400}{2 \times 0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$\phi Mn_{pasang} = 310.587.275 \text{ N-mm}$$

$$\phi Mn_{pasang} \geq Mu_{right(-)} = 242.311.200 \text{ N-mm} \rightarrow \text{Oke}$$

Luasan tulangan lentur tekan pakai:

$$Mu_{right(+)} = 141.924.200 \text{ N-mm}$$

$$As'_{perlu} = \frac{Mu_{right(+)}}{\phi_{lentur} \times fy \times j \times d} + As - torsi_{tiap-sisi}$$

$$As'_{perlu} = \frac{141.924.200}{0,9 \times 400 \times 0,85 \times 540,5} + 279,64$$

$$As'_{perlu} = 1.137,74 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan (pasang sisi bawah):

$$\text{Jumlah tulangan } (n) = \frac{As'_{\text{perlu}}}{As'_{\text{dia-lentur}}} = \frac{1.137,74}{283,53} = 4,01bh \approx 5bh$$

Maka, jumlah tulangan lentur tekan pada tumpuan kiri dipasang sebesar **5-D19**

Kontrol spasi bersih tulangan lentur:

$S \geq S_{\text{sejajar}} \rightarrow$ pasang tulangan 1 lapis

$S < S_{\text{sejajar}} \rightarrow$ pasang tulangan lebih dari 1 lapis

$$S = \frac{b_{\text{balok}} - (2 \times t_{\text{decking}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 19)}{5 - 1}$$

$$S = 51,25 \text{ mm}$$

Karena, $S \leq S_{\text{sejajar}}$ maka dipasang tulangan 1 lapis

Kontrol kuat momen nominal tarik terpasang

$$d'_{\text{aktual}} = t_{\text{decking}} + d_{\text{geser}} + 0,5 \times D_{\text{lentur}} + \left[(n_{\text{lapis}} - 1) \times (D_{\text{lentur}} + S_{\text{sejajar}}) \right]$$

$$d'_{\text{aktual}} = 40 + 10 + 0,5 \times 19 + \left[(1 - 1) \times (19 + 25) \right]$$

$$d'_{\text{aktual}} = 59,50 \text{ mm}$$

$$d_{\text{aktual}} = h_{\text{balok}} - d'_{\text{aktual}} = 600 - 59,50 = 540,5 \text{ mm}$$

$$\phi Mn_{\text{pasang}} = \phi_{\text{lentur}} \times As \times fy \times \left(d_{\text{aktual}} - \frac{As \times fy}{2 \times 0,85 \times f'c \times b_{\text{balok}}} \right)$$

$$\phi Mn_{\text{pasang}} = 0,9 \times 5 \times 283,53 \times 400 \times \left(540,5 - \frac{4 \times 283,53 \times 400}{2 \times 0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$\phi Mn_{\text{pasang}} = 261.659.996,8 \text{ N-mm}$$

$$\phi Mn_{\text{pasang}} \geq Mu_{\text{left}(+)} = 135.680.800 \text{ N-mm} \rightarrow \text{Oke}$$

$\phi Mn_{\text{pasang}} \geq Mu$, maka perencanaan tulangan yang direncanakan sudah memenuhi.

Cek Syarat SRPMK Untuk Kekuatan Lentur Balok

SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2.2 mensyaratkan bahwa kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari $\frac{1}{2}$ kuat lentur negatifnya pada muka tersebut.

$$\frac{1}{2} \phi Mn(-) < \phi Mn(+)$$

$$\frac{1}{2} \phi Mn(-) = \frac{1}{2} 310.587.275 < \phi Mn(+)=261.659.996 \text{ Nmm}$$

$$\frac{1}{2} \phi Mn(-) = 155.293.638 \text{ Nmm} < \phi Mn(+)=261.659.996 \text{ Nmm}$$

Memenuhi syarat sesuai SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2.2.

➤ Daerah lapangan

$$Mu_{-mid(+)} = 92.159.200 \text{ N-mm}$$

$$Mn = \frac{Mu_{-mid(+)}}{\phi_{lentur}} = \frac{92.159.200}{0,9}$$

$$= 102.399.111 \text{ N-mm}$$

Kontrol tulangan lentur akibat momen nominal:

$Mns > 0 \rightarrow$ maka, perlu tulangan lentur rangkap

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka, tidak perlu tulangan lentur rangkap

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 102.399.111 - 747.027.061$$

$$= -644.627.950,33 \text{ N-mm}$$

Jadi, kondisi saat ini $Mns < 0$ maka tidak diperlukan perhitungan tulangan rangkap.

Perencanaan tulangan lentur tunggal:

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Mn}{0,85 \times f_y \times b_{balok} \times d^2}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times 30}{400} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 102.399.111}{0,85 \times 400 \times 400 \times 540,5^2}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = 0,002$$

Kontrol:

$$\rho_{perlu} < \rho_{\min} = 0,0035 \rightarrow \text{pakai } \rho_{\min}$$

Maka, digunakan ρ_{\min}

Luasan tulangan lentur tarik pakai:

$$As_{perlu} = (\rho_{\min} \times b_{balok} \times d) + As_{torsi_{tiap-sisi}}$$

$$As_{perlu} = (0,0035 \times 400 \times 540,5) + 279,64$$

$$As_{perlu} = 756,70 + 279,64 = 1.036,34 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik (pasang sisi atas)

$$\text{Jumlah tulangan } (n) = \frac{As_{perlu}}{As_{D_{lentur}}} = \frac{1.036,34}{283,53} = 3,65 \approx 4bh$$

Maka, jumlah tulangan lentur tarik pada tumpuan kiri dipasang sebesar **4-D19**.

Kontrol spasi bersih tulangan lentur:

$S \geq S_{sejajar} \rightarrow$ pasang tulangan 1 lapis

$S < S_{sejajar} \rightarrow$ pasang tulangan lebih dari 1 lapis

$$S = \frac{b_{balok} - (2 \times t_{decking}) - (2 \times \phi_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 19)}{4 - 1}$$

$$S = 76,67 \text{ mm}$$

Karena, $S \leq S_{sejajar}$ maka dipasang tulangan 1 lapis

Kontrol kuat momen nominal tarik terpasang

$$d'_{aktual} = t_{decking} + d_{geser} + 0,5 \times D_{lentur} + \left[(n_{lapis} - 1) \times (D_{lentur} + S_{sejajar}) \right]$$

$$d'_{aktual} = 40 + 10 + 0,5 \times 19 + \left[(1 - 1) \times (19 + 25) \right]$$

$$d'_{aktual} = 59,50 \text{ mm}$$

$$d_{aktual} = h_{balok} - d'_{aktual} = 600 - 59,50 = 540,5 \text{ mm}$$

$$\phi Mn_{pasang} = \phi_{lentur} \times As \times fy \times \left(d_{aktual} - \frac{As \times fy}{2 \times 0,85 \times f'c \times b_{balok}} \right)$$

$$\phi Mn_{pasang} = 0,9 \times 4 \times 283,53 \times 400 \times \left(540,5 - \frac{4 \times 283,53 \times 400}{2 \times 0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$\phi Mn_{pasang} = 211.597.812 \text{ N-mm}$$

$$\phi Mn_{pasang} \geq Mu_{right(-)} = 92.913.300 \text{ N-mm} \rightarrow \text{Oke}$$

Kapasitas minimum momen positif dan momen negatif:

SNI beton pasal 21.5.2.1 dan 21.5.2.2 mengharuskan sekurang-kurangnya ada dua batang tulangan yang dipasang secara menerus, dan juga mensyaratkan baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari $\frac{1}{4}$ kuat lentur terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom tersebut.

ϕMn terbesar = 358.379.645 Nmm

$\frac{1}{4} \phi Mn$ terbesar = 89.594.911 Nmm

Luasan tulangan lentur tekan pakai:

$Mu_{mid(-)}$ = 89.594.911 N-mm

$$As'_{perlu} = \frac{Mu_{mid(+)}}{\phi_{lentur} \times fy \times j \times d} + As - torsi_{tiap-sisi}$$

$$As'_{perlu} = \frac{89.594.911}{0,9 \times 400 \times 0,85 \times 540,5} + 279,64$$

$$As'_{perlu} = 821,35 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan (pasang sisi bawah):

$$\text{Jumlah tulangan } (n) = \frac{As'_{perlu}}{As_{dia-lentur}} = \frac{821,35}{283,53} = 2,89bh \approx 3bh$$

Maka, jumlah tulangan lentur tekan pada tumpuan kiri dipasang sebesar **3-D19**

Kontrol spasi bersih tulangan lentur:

$S \geq S_{sejajar} \rightarrow$ pasang tulangan 1 lapis

$S < S_{sejajar} \rightarrow$ pasang tulangan lebih dari 1 lapis

$$S = \frac{b_{balok} - (2 \times t_{decking}) - (2 \times \phi_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{2 - 1}$$

$$S = 243 \text{ mm}$$

Karena, $S \leq S_{sejajar}$ maka dipasang tulangan 1 lapis

Kontrol kuat momen nominal tekan terpasang

$$d'_{aktual} = t_{decking} + d_{geser} + 0,5 \times D_{lentur} + \left[(n_{lapis} - 1) \times (D_{lentur} + S_{sejajar}) \right]$$

$$d'_{aktual} = 40 + 10 + 0,5 \times 19 + \left[(1 - 1) \times (19 + 25) \right]$$

$$d'_{aktual} = 59,50 \text{ mm}$$

$$d_{aktual} = h_{balok} - d'_{aktual} = 600 - 59,50 = 540,5 \text{ mm}$$

$$\phi Mn_{pasang} = \phi_{lentur} \times As \times f_y \times \left(d_{aktual} - \frac{As \times f_y}{2 \times 0,85 \times f_c' \times b_{balok}} \right)$$

$$\phi Mn_{pasang} = 0,9 \times 3 \times 283,53 \times 400 \times \left(540,5 - \frac{3 \times 283,53 \times 400}{2 \times 0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$\phi Mn_{pasang} = 160.400.720 \text{ N-mm}$$

$$\phi Mn_{pasang} \geq Mu_{mid(-)} = 89.594.911 \text{ N-mm} \rightarrow \text{Oke}$$

Cek Syarat SRPMK Untuk Kekuatan Lentur Balok

SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2.2 mensyaratkan bahwa kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari $\frac{1}{2}$ kuat lentur negatifnya pada muka tersebut.

$$\frac{1}{2} \phi Mn(-) < \phi Mn(+)$$

$$\frac{1}{2} \phi Mn(-) = \frac{1}{2} 211.597.812 < \phi Mn(+) = 160.400.720 \text{ Nmm}$$

$$\frac{1}{2} \phi Mn(-) = 105.798.906 \text{ Nmm} < \phi Mn(+) = 160.400.720 \text{ Nmm}$$

Memenuhi syarat sesuai SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2.2.

➤ Perhitungan Tulangan Geser Balok

Gaya geser desain yang digunakan untuk menentukan jarak dan luas tulangan transversal ditentukan oleh nilai terbesar dari hasil analisis struktur atau dari hasil peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat dihasilkan di muka-muka *joints* di setiap ujung komponen struktur.

☑ Perhitungan *Probable Moment Capacities* (Mpr)

Pada SNI beton 2847:2013 pasal 21.5.4.1 mengisyaratkan bahwa geser rencana akibat gempa pada balok dihitung dengan mengasumsi sendi plastis terbentuk diujung-ujung balok dengan tegangan tulangan lentur balok mencapai 1,25 fy dan faktor reduksi kuat lentur $\phi = 1$.

- Mpr Tumpuan Kiri Negatif (Mpr-1)

$$\begin{aligned} M_{pr-1} &= A_s \times 1,25 f_y \times \left(d_{aktual} - \frac{A_s \times 1,25 f_y}{2 \times 0,85 \times f_c' \times b_{balok}} \right) \\ &= 7 \times 283,53 \times 1,25 \times 400 \times \left(540,5 - \frac{7 \times 283,53 \times 1,25 \times 400}{2 \times 0,85 \times 30 \times 400} \right) \\ &= 488.094.914 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Mpr Tumpuan Kiri Positif (Mpr-2)

$$\begin{aligned} M_{pr-2} &= A_s \times 1,25 f_y \times \left(d_{aktual} - \frac{A_s \times 1,25 f_y}{2 \times 0,85 \times f_c' \times b_{balok}} \right) \\ &= 4 \times 283,53 \times 1,25 \times 400 \times \left(540,5 - \frac{4 \times 283,53 \times 1,25 \times 400}{2 \times 0,85 \times 30 \times 400} \right) \\ &= 290.733.330 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Mpr Tumpuan Kanan Negatif (Mpr-3)

$$\begin{aligned} M_{pr-3} &= A_s \times 1,25 f_y \times \left(d_{aktual} - \frac{A_s \times 1,25 f_y}{2 \times 0,85 \times f_c' \times b_{balok}} \right) \\ &= 6 \times 283,53 \times 1,25 \times 400 \times \left(540,5 - \frac{6 \times 283,53 \times 1,25 \times 400}{2 \times 0,85 \times 30 \times 400} \right) \\ &= 424.278.044,6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Mpr Tumpuan Kanan positif (Mpr-4)

$$\begin{aligned}
 \text{Mpr-4} &= A_s \times 1,25 f_y \times \left(d_{\text{aktual}} - \frac{A_s \times 1,25 f_y}{2 \times 0,85 \times f_c \times b_{\text{balok}}} \right) \\
 &= 5 \times 283,53 \times 1,25 \times 400 \times \left(540,5 - \frac{5 \times 283,53 \times 1,25 \times 400}{2 \times 0,85 \times 30 \times 400} \right) \\
 &= 358.490.849,7 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

☑ Perhitungan Gaya Geser

- Struktur Bergoyang Ke Kiri

$$\begin{aligned}
 V_{\text{sway kiri}} &= \frac{\text{Mpr1} + \text{Mpr4}}{Ln} \\
 &= \frac{488.094.914 + 358.490.849}{7000 - (500/2 \times 2)} \\
 &= 130.244 \text{ N} \\
 V_u \text{ total ujung kiri} &= V_{\text{sway kiri}} + V_{u\text{tumpuan kiri}} \\
 &= 130.244 + 71.642 \\
 &= 201.886 \text{ N (arah geser ke bawah)} \\
 V_u \text{ total ujung kanan} &= V_{\text{sway kiri}} - V_{u\text{tumpuan kanan}} \\
 &= 130.244 - 64.367 \\
 &= 65.877 \text{ N (arah geser ke atas)}
 \end{aligned}$$

- Struktur Bergoyang Ke Kanan

$$\begin{aligned}
 V_{\text{sway kanan}} &= \frac{\text{Mpr2} + \text{Mpr3}}{Ln} \\
 &= \frac{290.733.330 + 424.278.045}{7000 - (500/2 \times 2)} \\
 &= 111.721 \text{ N} \\
 V_u \text{ total ujung kanan} &= V_{\text{sway kanan}} + V_{u\text{tumpuan kanan}} \\
 &= 111.721 + 64.367 \\
 &= 174.369 \text{ N (arah geser ke bawah)} \\
 V_u \text{ total ujung kiri} &= V_{\text{sway kanan}} - V_{u\text{tumpuan kiri}} \\
 &= 111.721 - 71.642 \\
 &= 38.360 \text{ N (arah geser ke atas)}
 \end{aligned}$$

☑ **Perhitungan Tulangan Geser**

Cek Syarat Senggang Untuk Tumpuan

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.2 kontribusi beton dalam menahan gaya geser (V_c) dapat diambil sama dengan 0 pada daerah sendi plastis apabila :

✓ Syarat 1 $\rightarrow V_{sway} > \frac{1}{2} V_u$ sepanjang bentang

✓ Syarat 2 $\rightarrow P_u < \frac{A_g f'_c}{20}$

Tabel 4.21 Gaya Geser di Muka Kolom Kiri dan Kanan

Arah Gerakan Gempa	V_{sway}	Vu total kiri		Vu total kanan	
		Vu	1/2 Vu	Vu	1/2 Vu
	N	N	N	N	N
Kiri	130.244	201.886	100.943	65.877	32.938
Kanan	110.002	38.360	19.180	174.369	87.184

Berdasarkan hasil tabel diatas dapat diketahui bahwa syarat 1 memenuhi. Pada perencanaan ini diketahui nilai $P_u = 9124\text{N}$, sedangkan $A_g f'_c / 20 = 360.000\text{N} > P_u$. Dengan demikian, syarat 1 dan 2 memenuhi, maka dalam perencanaan tulangan geser dilakukan dengan tidak memperhitungkan kontribusi beton ($V_c=0$) disepanjang zona sendi plastis.

• **Daerah Tumpuan Kiri (sendi plastis)**

$$V_{u \text{ tumpuan max}} = 193.508 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{V_u}{\phi_{geser}} - V_c \\
 &= \frac{201.886}{0,75} - 0 \\
 &= 269.181 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol V_s sesuai SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.9

$$\begin{aligned} V_{s-max} &= \frac{2}{3} \sqrt{f_c} \times b_{balok} \times d \\ &= \frac{2}{3} \sqrt{30} \times 400 \times 540,5 \\ &= 781.556 \text{ N} \end{aligned}$$

OK, $V_s = 269.181 \text{ N} < V_{s-max} = 781.556 \text{ N}$. Syarat V_s memenuhi, maka penampang balok cukup menerima gaya geser rencana.

Kebutuhan tulangan geser:

$$\begin{aligned} \frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_{yv} \times d} + 2 \frac{A_t}{s} \\ &= \frac{269.181}{400 \times 540,5} + 0,660 \\ &= 1,245 + 0,660 \\ &= 1,905 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Kebutuhan spasi tulangan geser pada tumpuan:

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_{s\phi geser}}{A_v / s} \\ &= \frac{157,08}{1,905} \\ &= 82,45 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat spasi maksimum tulangan geser balok menurut SNI 2847:2013 ps 21.5.3(2):

$$\begin{aligned} S &\leq d/4 \\ &\leq 540,5/4 \\ &\leq 135 \text{ mm} \\ S &\leq 6 \text{ dia.tul memanjang terkecil} \\ &\leq 6 \times 19 \\ &\leq 114 \text{ mm} \\ S &\leq 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi, spasi tidak boleh kurang dari 82,45 mm.

Dari perhitungan jarak diatas digunakan spasi terkecil. Dengan demikian, tulangan sengkang di daerah sendi plastis menggunakan sengkang tertutup **2 kaki D10-80**. Sengkang pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan.

- **Daerah tumpuan kanan (sendi plastis)**

$$V_u_{\text{tumpuan max}} = 201.886 \text{ N}$$

Maka, akan sama seperti tumpuan kiri, diperlukan tulangan sengkang tertutup **2 kaki D10-80**.

- **Daerah lapangan (ujung zona sendi plastis)**

$$\begin{aligned} V_u &= V_{\text{sway}} + V_{u_{\text{mid}}} \\ &= 130.244 + 57.701 \\ &= 187.945 \text{ N} \end{aligned}$$

Terletak diujung zona sendi plastis ($2h$ dari muka kolom). Pada zona ini, kontribusi V_c dapat diperhitungkan.

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_{\text{balok}} \times d$$

(SNI 2847-2013 Pasal 11.2.1.1)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times 1,0 \times \sqrt{30} \times 400 \times 540,5 \\ V_c &= 201.310 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol kebutuhan tulangan geser :

$$V_s = \frac{V_u}{\phi_{\text{geser}}} - V_c$$

$$V_s = \frac{187.945}{0,75} - 201.310$$

$$V_s = 49.283,34 \text{ N}$$

(tidak diperlukan tulangan geser, digunakan tulangan geser minimum)

Kontrol V_s sesuai SNI 2847:2013 Pasal 11.4.6.1

$$V_s < \phi_{geser} \times V_c$$

$$49.283,34 \text{ N} < 0,75 \times 201.310$$

$$49.283,34 \text{ N} < 150.144 \text{ N}$$

$$V_s = 49.283,34 \text{ N} < \phi_{geser} \times V_c = 150.144 \text{ N}$$

$$V_s < 0,5 \times \phi_{geser} \times V_c$$

$$49.283,34 \text{ N} < 0,5 \times 0,75 \times 201.310$$

$$49.283,34 \text{ N} < 75.491 \text{ N}$$

$$V_s = 49.283,34 \text{ N} < 0,5 \times \phi_{geser} \times V_c = 75.491 \text{ N}$$

Dari kedua syarat diatas memenuhi. Jadi, digunakan tulangan geser minimum.

Kebutuhan tulangan geser minimum SNI 2847:2013 pasal 11.4.6.3:

$$\frac{A_v}{s} = 0,062 \times \sqrt{f_c} \times \frac{b_{balok}}{f_{yv}}$$

$$\frac{A_v}{s} = 0,062 \times \sqrt{30} \times \frac{400}{400}$$

$$\frac{A_v}{s} = 0,340 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Namun nilai diatas tidak boleh kurang dari:

$$\frac{A_v}{s} = 0,35 \times \frac{b_{balok}}{f_{yv}}$$

$$\frac{A_v}{s} = 0,35 \times \frac{400}{400}$$

$$\frac{A_v}{s} = 0,350 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Jadi, nilai $\frac{A_v}{s}$ yang digunakan ialah $0,350 \text{ mm}^2/\text{mm}$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_v}{s} \text{ perlu} &= \frac{A_v}{s} + 2 \frac{A_t}{s} \\
 &= 0,350 + 0,660 \\
 &= 1,010 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

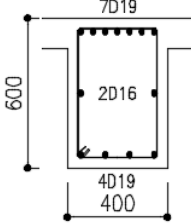
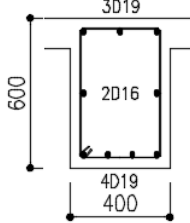
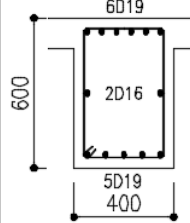
Kebutuhan spasi tulangan geser pada tumpuan:

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_{s_{\phi \text{ geser}}}}{A_v / s} \\
 &= \frac{157,08}{1,010} \\
 &= 155,52 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat spasi tulangan geser minimum balok menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.3(4):

$$\begin{aligned}
 S &< d/2 \\
 &< 537,5/2 \\
 &< 268,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan jarak diatas digunakan spasi terkecil. Dengan demikian, tulangan sengkang minimum di daerah ujung sendi plastis menggunakan sengkang tertutup **2 kaki D10-150**.

B1 – LANTAI 1		
LEFT	CENTER	RIGHT
		
ST □ D10-80	ST □ D10-150	ST □ D10-80

Gambar 4.38 Detail isi tulangan balok yang ditinjau berdasarkan SNI 1726-2012

Tabel 4.22 Rekapitulasi jumlah kebutuhan tulangan pada balok tipe B1 tiap lantai berdasarkan SNI 1726-2012

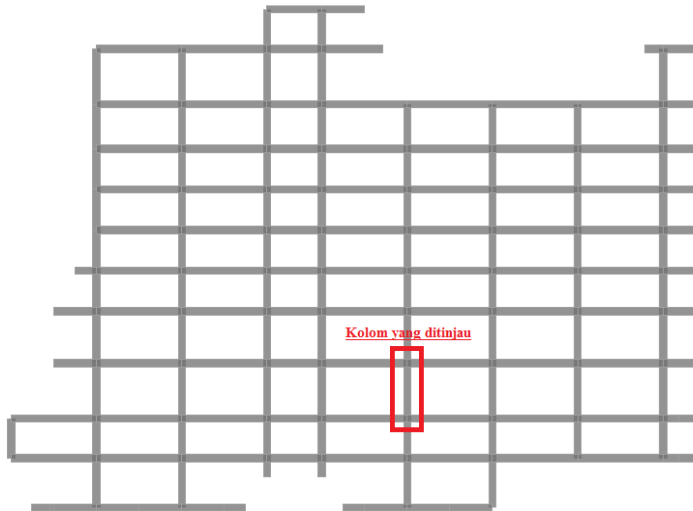
Lantai	Left		Mid		Right		Torsi
	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	
Basement	4-D19	2-D19	3-D19	4-D19	4-D19	2-D19	2-D16
L. Dasar	6-D19	3-D19	3-D19	4-D19	6-D19	3-D19	2-D16
Lantai 1	7-D19	4-D19	3-D19	4-D19	6-D19	5-D19	2-D16
Lantai 2	7-D19	4-D19	3-D19	4-D19	6-D19	4-D19	2-D16
Lantai 3	6-D19	3-D19	3-D19	4-D19	6-D19	3-D19	2-D16
Lantai 5	6-D19	3-D19	3-D19	4-D19	6-D19	3-D19	2-D16
Lantai 6	6-D19	3-D19	3-D19	4-D19	6-D19	3-D19	2-D16
Lantai 7	5-D19	3-D19	3-D19	4-D19	5-D19	3-D19	2-D16
Lantai 8	5-D19	3-D19	3-D19	5-D19	6-D19	3-D19	2-D16

Tabel 4.23 Rekapitulasi jumlah kebutuhan luas tulangan pada balok tipe B1 tiap lantai berdasarkan SNI 1726-2012

Lantai	Left		Mid		Right		Torsi
	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	
	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²
Basement	1.134	567	851	1.134	1.134	567	402
L. Dasar	1.701	851	851	1.134	1.701	851	402
Lantai 1	1.985	1.134	851	1.134	1.701	1.418	402
Lantai 2	1.985	1.134	851	1.134	1.701	1.134	402
Lantai 3	1.701	851	851	1.134	1.701	851	402
Lantai 5	1.701	851	851	1.134	1.701	851	402
Lantai 6	1.701	851	851	1.134	1.701	851	402
Lantai 7	1.418	851	851	1.134	1.418	851	402
Lantai 8	1.418	851	851	1.418	1.701	851	402

4.13 Perhitungan tulangan Kolom

Pada struktur yang direncanakan terdapat satu tipe kolom, berikut perhitungan untuk penulangan kolom di ambil contoh pada lantai dasar yang ditunjukkan seperti gambar berikut:



Gambar 4.39 Lokasi peninjauan perhitungan kolom pada *grid-3*

Data perencanaan :

$$\begin{aligned}
 f_c' &= 30 \text{ Mpa} \\
 f_y &= 400 \text{ Mpa} \\
 b_{kolom} &= 500 \text{ mm} \\
 h_{kolom} &= 700 \text{ mm} \\
 d_{lentur} &= 22 \text{ mm} \\
 d_{geser} &= 13 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

1) Definisi kolom

- a. Gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja harus lebih besar dari :

$$\frac{A_g \times f_c'}{10} = \frac{(600 \times 600) \times 30}{10} = 1.080 \text{ kN}$$

$$P_u = 4050 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

- b. Sisi terpendek penampang kolom tidak boleh kurang dari 300 mm.

$$\text{Sisi terpendek kolom, } b = 600 \text{ mm}$$

$$\text{OK, } b > 300 \text{ mm}$$

- c. Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4

$$\text{Rasio antara } b \text{ dan } h = 600/600 = 1$$

$$\text{OK, } b/h \text{ rasio} > 0,4$$

2) Cek konfigurasi penulangan

Direncanakan tulangan lentur pada kolom dengan 10D22. Rasio tulangan ρ_g dibatasi tidak kurang dari 0,01 dan tidak lebih dari 0,08.

$$A_s = 10 \times \pi \times 0,25 \times 22^2 = 3801,33 \text{ mm}^2$$

$$\rho_g = \frac{A_s}{A_g} = \frac{3801,33}{500 \times 700} = 0,01086 - \text{OK, } 0,01 < \rho_g < 0,08$$

Dari rencana di atas, kemudian dilakukan analisis menggunakan software spcolumn dengan memasukkan gaya dalam yang terjadi pada tabel 4.24, tabel 4.25, dan tabel 4.26. Diagram interaksi yang dihasilkan oleh spcolumn ketika sudah memasukkan gaya dalam (gambar 4.40 dan gambar 4.41), dimana gaya dalam tersebut masih di dalam diagram, maka perencanaan kolom dimensi (50/70) dengan jumlah tulangan sebesar 10D22 sudah memenuhi syarat.

Tabel 4.24 Gaya dalam kolom akibat kombinasi gravitasi

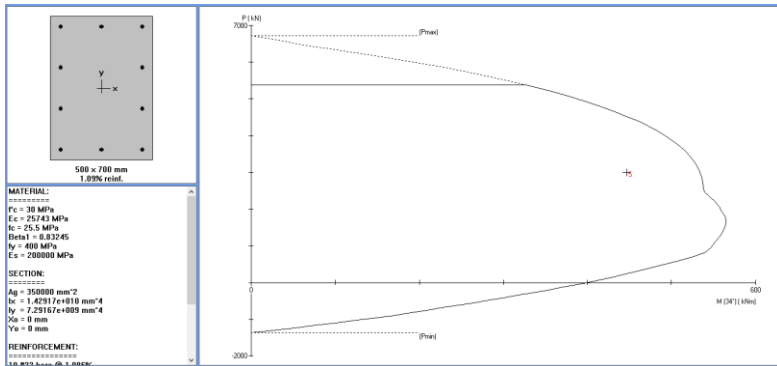
Lantai	P	Mx	My	P	Mx	My	Vu-x	Vu-y
	Bottom			Top				
	kN	kN-m	kN-m	kN	kN-m	kN-m		
GWT	4050	10	30	4020	20	50	30	10
Basement	3640	30	40	3620	10	60	40	20
L. Dasar	3050	20	120	3010	20	110	60	10
Lantai 1	2680	30	110	2640	30	100	60	20
Lantai 2	2270	10	110	2250	20	100	80	20
Lantai 3	1860	10	100	1830	10	100	80	10
Lantai 5	1440	10	110	1420	10	110	80	10
Lantai 6	1030	10	100	1010	10	90	70	10
Lantai 7	620	10	130	590	10	200	110	10

Tabel 4.25 Gaya dalam kolom akibat kombinasi gempa 2002

Lantai	P	Mx	My	P	Mx	My	Vu-x	Vu-y
	Bottom			Top				
	kN	kN-m	kN-m	kN	kN-m	kN-m		
GWT	3660	10	30	3620	20	40	30	10
Basement	3280	20	80	3250	50	40	50	20
L. Dasar	2780	150	260	2740	140	70	130	70
Lantai 1	2450	100	250	2420	150	90	140	60
Lantai 2	2080	90	200	2050	120	60	150	70
Lantai 3	1690	80	190	1660	100	70	150	70
Lantai 5	1300	70	180	1270	90	70	140	60
Lantai 6	910	60	160	880	70	60	120	50
Lantai 7	520	50	180	490	70	140	150	40

Tabel 4.26 Gaya dalam kolom akibat kombinasi gempa 2012

Lantai	P	Mx	My	P	Mx	My	Vu-x	Vu-y
	Bottom			Top				
	kN	kN-m	kN-m	kN	kN-m	kN-m		
GWT	3950	10	40	3910	20	40	40	10
Basement	3530	20	110	3500	80	40	60	30
L. Dasar	3000	250	370	2960	210	150	170	110
Lantai 1	2660	180	360	2620	230	190	190	110
Lantai 2	2250	140	280	2220	180	140	210	110
Lantai 3	1820	130	260	1790	160	120	200	110
Lantai 5	1400	120	240	1370	140	110	190	90
Lantai 6	980	100	220	950	110	90	160	80
Lantai 7	560	90	230	520	120	140	190	70

Gambar 4.40 Diagram interaksi kolom *software* SP-Column

Layout: Rectangular
 Pattern: Sides Different (Cover to longitudinal reinforcement)
 Total steel area: $A_s = 3801 \text{ mm}^2$ at $\rho = 1.09\%$
 Minimum clear spacing = 177 mm

	Top	Bottom	Left	Right
Bars	3 #22	3 #22	2 #22	2 #22
Cover (mm)	40	40	40	40

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities:

No.	Pu kN	Mux kNm	Muy kNm	PhiMnx kNm	PhiMny kNm
1	3050.00	120.00	20.00	629.75	104.96
2	3010.00	110.00	20.00	625.61	113.75
3	2780.00	260.00	150.00	478.61	276.12
4	2740.00	70.00	140.00	217.85	435.69
5	3000.00	370.00	250.00	442.32	298.87
6	2960.00	150.00	210.00	284.80	398.72

*** End of output ***

Gambar 4.41 Hasil dari diagram interaksi software SP-Column

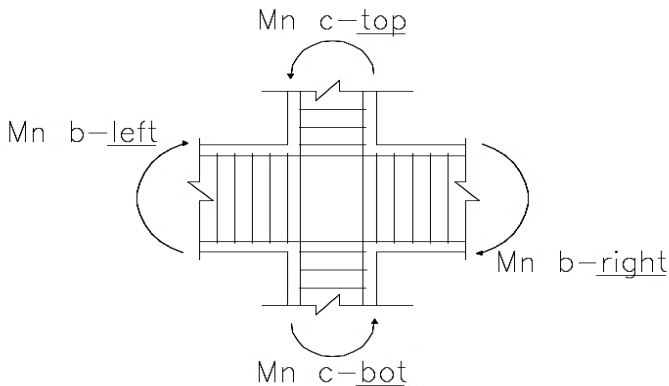
3) Kontrol kolom kuat balok lemah

Kuat kolom ϕM_n harus memenuhi $\Sigma M_c \geq 1,2 \Sigma M_g$

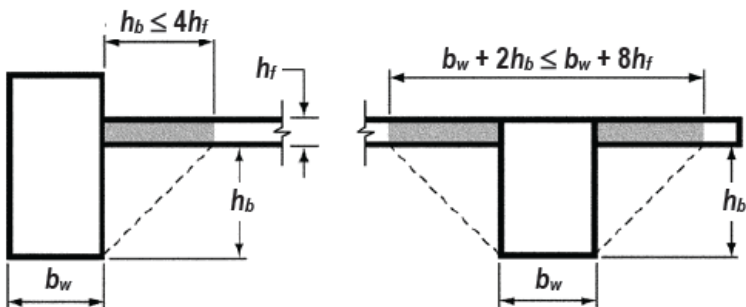
(SNI 2847-2013 Pasal 21.6.2.2)

ΣM_c = jumlah momen nominal, ϕM_n , dua kolom yang bertemu di join.

ΣM_g = jumlah momen nominal, ϕM_n , dua balok yang bertemu di join (termasuk sumbu tumpang pelat di selebar efektif pelat lantai)



Gambar 4.42 Momen pada hubungan balok kolom



Gambar 4.43 Ilustrasi perhitungan lebar efektif balok

Menentukan lebar efektif balok:

Nilai b_e : a. $b_w + 2h_b = 400 + 2 \times (600 - 120) = 1360 \text{ mm}$

b. $b_w + 8h_f = 400 + (8 \times 120) = 1360 \text{ mm}$

Dipakai nilai b_e terkecil yaitu sebesar 1360 mm.

Menentukan ϕM_n balok kiri dan kanan:

$$\begin{aligned}\phi M_{n_{\text{kiri}}} &= \phi_{\text{lentur}} \times A_s \times f_y \times \left(d_{\text{aktual}} - \frac{A_s \times f_y}{2 \times 0,85 \times f_c' \times b_e} \right) \\ &= 0,9 \times 7 \times 283,53 \times 400 \times \left(540,5 - \frac{7 \times 283,53 \times 400}{2 \times 0,85 \times 30 \times 1360} \right) \\ &= 378.009.171 \text{ N-mm} \\ &= 378 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi M_{n_{\text{kanan}}} &= \phi_{\text{lentur}} \times A_s \times f_y \times \left(d_{\text{aktual}} - \frac{A_s \times f_y}{2 \times 0,85 \times f_c' \times b_{\text{balok}}} \right) \\ &= 0,9 \times 5 \times 283,53 \times 400 \times \left(540,5 - \frac{5 \times 283,53 \times 400}{2 \times 0,85 \times 30 \times 400} \right) \\ &= 261.659.996,8 \text{ N-mm} \\ &= 261 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

Layout: Rectangular
 Pattern: Sides Different (Cover to longitudinal reinforcement)
 Total steel area: $A_s = 3801 \text{ mm}^2$ at $\rho = 1.09\%$
 Minimum clear spacing = 177 mm

	Top	Bottom	Left	Right
Bars	3 #22	3 #22	2 #22	2 #22
Cover (mm)	40	40	40	40

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities:

No.	Pu kN	Mux kNm	Muy kNm	PhiMnx kNm	PhiMny kNm
1	3000.00	0.00	0.00	676.89	0.00
2	3500.00	0.00	0.00	644.67	0.00

*** End of output ***

Gambar 4.44 Hasil diagram interaksi untuk melihat M_n pada kolom yang direncanakan

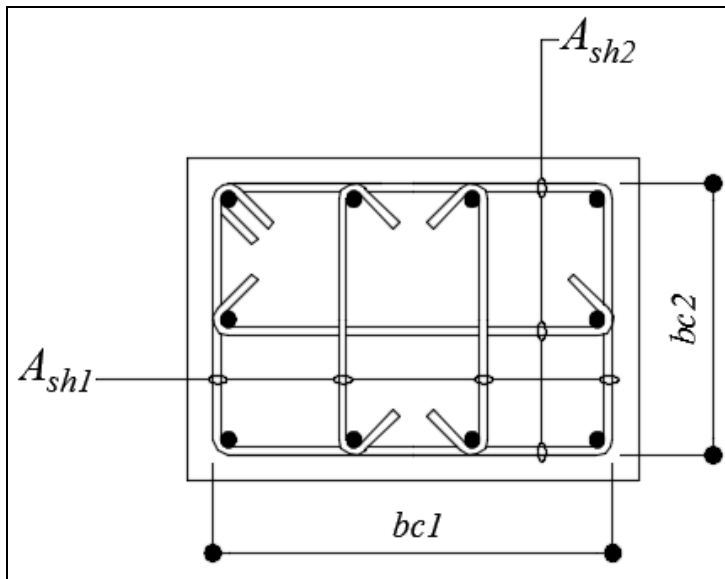
$$\begin{aligned}\Sigma M_g &= 1,2 \times (\phi Mn_{kanan} + \phi Mn_{kiri}) \\ &= 1,2 \times (378 + 261) = 715 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma M_c &= (\phi Mn_{atas} + \phi Mn_{bawah}) \\ &= 676 \text{ kNm} + 644 \text{ kNm} \\ &= 1.320 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Jadi, kuat kolom balok lemah ϕMn memenuhi:

$$1.320 \text{ kNm} \geq 715 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_c \geq 1,2 \Sigma M_g \rightarrow \text{Oke}$$



Gambar 4.45 Detail penampang kolom untuk desain tulangan geser

4) Desain tulangan geser

Perhitungan tulangan *confinement*.

a. Penentuan luas tulangan *confinement*.

Untuk daerah sepanjang l_o dari ujung-ujung kolom total luas penampang *hoop* tidak boleh kurang dari salah satu yang terbesar antara (SNI2847:2013 pasal 21.6.4.4):

$$A_{sh} = 0,3 \left(\frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \text{ dan } A_{sh} = 0,09 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}}$$

Hitung kebutuhan A_{shl} :

b_{c1} = lebar penampang diukur dari sisi terluar sengkang

$$b_{c1} = 700 - 2 \times (40)$$

$$b_{c1} = 620 \text{ mm}$$

A_{ch} = luas inti penampang

$$A_{ch} = (b - 2t_{selimut}) \times (h - 2t_{selimut})$$

$$A_{ch} = (500 - 2(40)) \times (700 - 2(40)) = 260.400 \text{ mm}^2$$

Maka nilai A_{shl} sebagai berikut:

$$\frac{A_{shl}}{s} = 0,3 \left(\frac{b_{c1} f'_c}{f_{yt}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right)$$

$$A_{shl} = 0,3 \left(\frac{620 \times 30}{400} \right) \left(\frac{500 \times 700}{260.400} - 1 \right) = 4,80 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_{shl}}{s} = 0,09 \frac{b_{c1} f'_c}{f_{yt}}$$

$$\frac{A_{shl}}{s} = 0,09 \frac{620 \times 30}{400} = 4,185 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Nilai yang menentukan, yaitu 4,80 mm²/mm. Coba digunakan sengkang (hoop) **4 kaki D13**, maka spasi yang diperlukan:

$$As_{geser} = 4 \times \pi \times 0,25 \times (d_{geser})^2$$

$$A_{s_{geser}} = 4 \times \pi \times 0,25 \times 13^2$$

$$A_{s_{geser}} = 530,93 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_{s_{geser}}}{A_{sh1} / s}$$

$$S = \frac{530,93}{4,80}$$

$$S = 110,61 \text{ mm}$$

Hitung kebutuhan A_{sh2} :

b_{c2} = lebar penampang diukur dari sisi terluar sengkang

$$b_{c2} = 500 - 2 \times (40)$$

$$b_{c2} = 420 \text{ mm}$$

A_{ch} = luas inti penampang

$$A_{ch} = (b - 2t_{selimut}) \times (h - 2t_{selimut})$$

$$A_{ch} = (500 - 2(40)) \times (700 - 2(40)) = 260.400 \text{ mm}^2$$

Maka nilai A_{sh2} sebagai berikut:

$$\frac{A_{sh2}}{s} = 0,3 \left(\frac{b_{c2} f'_c}{f_{yt}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right)$$

$$A_{sh2} = 0,3 \left(\frac{420 \times 30}{400} \right) \left(\frac{500 \times 700}{260.400} - 1 \right) = 3,252 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_{sh2}}{s} = 0,09 \frac{b_c f'_c}{f_{yt}}$$

$$\frac{A_{sh2}}{s} = 0,09 \frac{420 \times 30}{400} = 2,835 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Nilai yang menentukan, yaitu 3,252 mm²/mm. Coba digunakan sengkang (hoop) **3 kaki D13**, maka spasi yang diperlukan:

$$A_{s_{geser}} = 3 \times \pi \times 0,25 \times (d_{geser})^2$$

$$A_{s_{geser}} = 3 \times \pi \times 0,25 \times 13^2$$

$$A_{s_{geser}} = 398,20 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_{s_{geser}}}{A_{sh1} / s}$$

$$S = \frac{398,20}{3,252}$$

$$S = 122,46 \text{ mm}$$

- b. Tentukan daerah pemasangan tulangan sengkang persegi (*hoop*). Tulangan *hoop* diperlukan sepanjang l_o dari ujung-ujung kolom dengan l_o merupakan nilai terbesar dari (SNI32847:2013 pasal 21.6.4.1) :

- Tinggi komponen struktur di joint

$$h = 600 \text{ mm}$$

- $1/6$ bentang bersih komponen struktur

$$1/6 L_n = 1/6 \times (4500 - 600) = 650 \text{ mm}$$

- 450 mm

- c. Tentukan spasi maksimum *hoop*, s_{max} , pada daerah sepanjang l_o dari ujung-ujung kolom. Nilai s_{max} merupakan nilai terkecil dari (SNI2847:2013 pasal 21.6.4.3 dan 21.6.4.5):

- Seperempat dimensi komponen struktur minimum

$$\frac{b}{4} = \frac{500}{4} = 125 \text{ mm}$$

- 6 kali diameter tulangan longitudinal terkecil

$$6d_b = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$$

- s_o , dengan s_o tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak kurang dari 100 mm.

$$s_o = 100 + \frac{350 - h_x}{3}$$

$$s_o = 100 + \frac{350 - \left(\frac{1}{3} \times (b_{c1})\right)}{3}$$

$$s_o = 100 + \frac{350 - \left(\frac{1}{3} \times (620)\right)}{3}$$

$$s_o = 148 \text{ mm}$$

Jadi sepanjang $l_0 = 650 \text{ mm}$ dari muka hubungan balok kolom harus disediakan sengkang tertutup untuk A_{sh1} dipasang **4 kaki D13-100 mm** dan A_{sh2} dipasang **3 kaki D13-100**. Diluar daerah tersebut diizinkan dipasang sengkang tertutup berjarak **125 mm**.

5) Kontrol tulangan geser terhadap gaya geser desain, V_e

Gaya geser desain yang digunakan untuk menentukan jarak dan luas tulangan transversal ditentukan dari nilai (i), tetapi tidak perlu lebih besar dari nilai (ii), dan harus melebihi nilai (iii) (MacGregor, 2009)

$$(i) V_{sway1} = \frac{M_{prc,atas} + M_{prc,bawah}}{l_u}$$

$$(ii) V_{sway2} = \frac{\sum M_{prb,atas} DF_{atas} + \sum M_{prb,bawah} DF_{bawah}}{l_u}$$

(iii) V_u hasil analisis struktur

Hitung $M_{prc,atas}$, dan $M_{prc,bawah}$

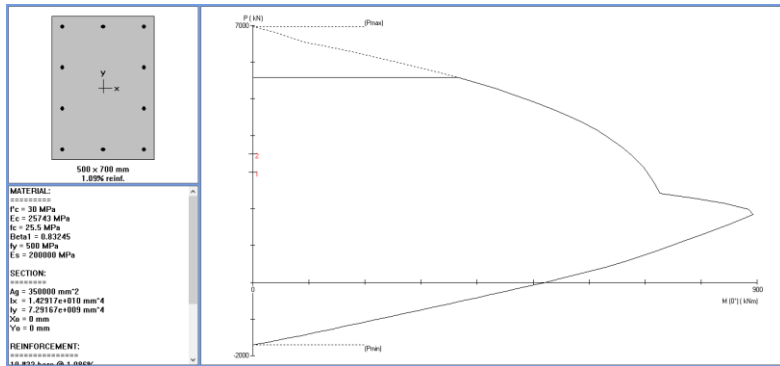
$M_{prc,atas}$ dan $M_{prc,bawah}$ didapat dari diagram interaksi kuat momen, P_n - M_{pr} kolom. Diagram interaksi didapat dengan menggunakan $f_s = 1,25 f_y$ dan $\phi=1$. Dari Gambar 4.27 dan Gambar 4.28 diketahui besarnya $M_{prc,atas}$ dan $M_{prc,bawah}$

$$M_{prc,atas} = 702 \text{ kNm}$$

$$M_{prc,bawah} = 672 \text{ kNm}$$

Hitung V_e

$$V_{sway1} = \frac{M_{prc,atas} + M_{prc,bawah}}{l_u} = \frac{702 + 672}{3,9} = 352 \text{ kN}$$



Gambar 4.46 Diagram P-M dari software *SP-Column*

Layout: Rectangular
 Pattern: Sides Different (Cover to longitudinal reinforcement)
 Total steel area: $A_s = 3801 \text{ mm}^2$ at $\rho = 1.09\%$
 Minimum clear spacing = 177 mm

	Top		Bottom		Left		Right	
Bars	3	#22	3	#22	2	#22	2	#22
Cover (mm)	40		40		40		40	

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities:

No.	P_u kN	M_{ux} kNm	M_{uy} kNm	ΦM_{nx} kNm	ΦM_{ny} kNm
1	3000.00	0.00	0.00	702.85	0.00
2	3500.00	0.00	0.00	672.42	0.00

*** End of output ***

Gambar 4.47 Output momen nominal dari software *SP-Column*

Hitung V_u

Sedangkan untuk M_{pr} akibat tulangan terpasang balok yang berada pada Hubungan Balok Kolom (HBK) didapatkan dari perhitungan sebelumnya yaitu

$$V_{sway2} = \frac{\sum M_{prb,atas} DF_{atas} + \sum M_{prb,bawah} DF_{bawah}}{l_u}$$

$$V_{sway2} = \frac{(488 + 358) \times 0,5 + (488 + 358) \times 0,5}{3,9}$$

$$V_{sway2} = 216 \text{ kN}$$

$$V_u = 170 \text{ kN (hasil dari analisis SAP2000)}$$

Jadi, kontrol nilai V_e :

$$V_e > V_{sway2} \Leftrightarrow 352 \text{ kN} > 216 \text{ kN}$$

$$V_e > V_u \Leftrightarrow 352 \text{ kN} > 170 \text{ kN}$$

Perencanaan Geser memenuhi syarat sesuai **SNI2847:2013, Pasal 21.6.5.1**, dimana nilai V_e tidak boleh lebih kecil dari pada nilai gaya geser terfaktor yang dibutuhkan berdasarkan hasil analisa struktur. Besarnya nilai V_u akan ditahan oleh kuat geser beton (V_c) dan kuat tulangan geser (V_s). Nilai V_c dapat dianggap = 0, sesuai **SNI 2847:2013, Pasal 21.6.5.2**, apabila;

- Gaya geser yang ditimbulkan gempa, V_{sway} , mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam l_o .
- Gaya tekan aksial terfaktor, $P_u = 2.630 \text{ kN}$ kurang dari $A_g f'_c / 10$.

$$\frac{A_g f'_c}{10} = \frac{600 \times 600 \times 30}{10} = 1.080.000 \text{ N} = 1.080 \text{ kN}$$

Karena $P_u > \frac{A_g f'_c}{10}$ kontribusi beton perlu diperhitungkan.

Hitung tulangan geser yang diperlukan di sepanjang l_0

$$d = h_{kolom} - \left(t_{decking} + d_{geser} + \frac{d_{lentur}}{2} \right)$$

$$d = 700 - \left(40 + 13 + \frac{22}{2} \right)$$

$$d = 636 \text{ mm}$$

Kontribusi beton terhadap geser (V_c):

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f_c} b_{kolom} d$$

$$V_c = 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 500 \times 636$$

$$V_c = 296 \text{ kN}$$

Hitung tulangan transversal untuk menahan gaya geser rencana

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{352}{0,75} - 296 = 173 \text{ kN}$$

Sehingga:

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \times d} = \frac{173000}{400 \times 636} = 0,68 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Jadi, $\frac{A_v}{s}$ yang diperlukan lebih kecil dari persyaratan

$\frac{A_{sh}}{s}$ pada perhitungan sebelumnya, maka tetap dipakai A_{sh1}

dipasang **4 kaki D13-100 mm** dan A_{sh2} dipasang **3 kaki D13-100**.

Hitung tulangan geser yang diperlukan di luar l_0

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{P_u}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c} b_{kolom} d$$

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{3.000.000}{14 (500 \times 700)} \right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 500 \times 636$$

$$V_c = 477 \text{ kN}$$

Hitung tulangan transversal untuk menahan gaya geser rencana

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{352}{0,75} - 477 = -7,67 \text{ kN}$$

Maka tidak diperlukan tulangan geser.

Jadi, $\frac{A_v}{s}$ yang diperlukan lebih kecil dari persyaratan

$\frac{A_{sh}}{s}$ pada perhitungan sebelumnya, maka dipasang A_{sh1} dipasang **4 kaki D13-125 mm** dan A_{sh2} dipasang **3 kaki D13-125**.

6) Hubungan balok dan kolom

Daerah pertemuan antara kolom dan balok atau yang disebut Hubungan Balok Kolom (HBK), merupakan daerah yang juga harus didetailkan dengan baik. Persyaratan desain HBK, dijelaskan dalam uraian berikut.

a. Kontrol dimensi penampang kolom

Panjang pertemuan antara balok dan kolom (joint) yang diukur paralel terhadap tulangan lentur balok yang menyebabkan geser di joint dengan syarat dimensi penampang kolom tidak boleh kurang dari:

$$b_{kolom} = h_{kolom} > 20 \times dia_{lentur-balok} \quad (\text{SNI 2847-2013 pasal 21.7.2.3})$$

$$b_{kolom} = 500 \text{ mm} > 20 \times 19 \text{ mm}$$

$$b_{kolom} = 500 \text{ mm} > 380 \text{ mm} \rightarrow \text{Oke}$$

Luas efektif pertemuan antara balok dan kolom, dinyatakan dalam A_j , yang dihitung dari h_{kolom} dikali lebar joint efektif (l_j), seperti berikut:

$$l_{j1} = b_{balok} + h_{kolom}$$

$$l_{j1} = 400 + 700$$

$$l_{j1} = 1100 \text{ mm}$$

$$lx = \frac{b_{kolom} - b_{balok}}{2}$$

$$lx = \frac{500 - 400}{2}$$

$$lx = 50 \text{ mm}$$

$$lj_2 = b_{balok} + (2 \times lx)$$

$$lj_2 = 400 + (2 \times 50)$$

$$lj_2 = 500 \text{ mm}$$

$$Aj = h_{kolom} \times lj$$

$$Aj = 700 \times 500$$

$$Aj = 350.000 \text{ mm}$$

b. Penulangan geser pada joint HBK

SNI 2847-2013 pasal 21.7.3.2 menjelaskan bahwa tulangan geser pada joint HBK dibutuhkan setidaknya setengah dari tulangan geser yang dibutuhkan pada daerah sendi plastis jika :

$$b_{balok} \geq \frac{3}{4} b_{kolom}$$

$$400 \geq \frac{3}{4} \times 500 = 375 \rightarrow \text{Oke}$$

$$b_{balok} \geq \frac{3}{4} h_{kolom}$$

$$400 \geq \frac{3}{4} \times 700 = 525 \rightarrow \text{Tidak oke}$$

Maka kebutuhan tulangan geser pada HBK sama dengan tulangan geser yang dibutuhkan pada sendi plastis yaitu A_{sh1} dipasang **4 kaki D13-100 mm** dan A_{sh2} dipasang **3 kaki D13-100**.

c. Kontrol kuat geser pada HBK

$$V_{sway2} = \frac{\sum M_{prb,atas} DF_{atas} + \sum M_{prb,bawah} DF_{bawah}}{l_u}$$

$$V_{sway2} = \frac{(488 + 358) \times 0,5 + (488 + 358) \times 0,5}{3,9}$$

$$V_{sway2} = 216 \text{ kN}$$

Tinjau arah bolak-balik jadi, gaya yang bekerja yaitu:

- Gaya tarik tulangan balok di bagian kiri

$$T_1 = 1,25 \times A_s \times f_y$$

$$T_1 = 1,25 \times (7 \times \pi \times 0,25 \times 19^2) \times 400$$

$$T_1 = 992 \text{ kN}$$

- Gaya tarik tulangan balok di bagian kiri

$$C_1 = T_1 = 992 \text{ kN}$$

- Gaya tarik tulangan balok di bagian kanan

$$T_2 = 1,25 \times A_s \times f_y$$

$$T_2 = 1,25 \times (5 \times \pi \times 0,25 \times 19^2) \times 400$$

$$T_2 = 709 \text{ kN}$$

- Gaya tarik tulangan balok di bagian kanan

$$C_2 = T_2 = 709 \text{ kN}$$

Kuat geser nominal joint yang dikekang di keempat sisinya adalah:

$$Vu = Vj = T_1 + C_2 - V_{sway2}$$

$$Vu = Vj = 992 + 709 - 216$$

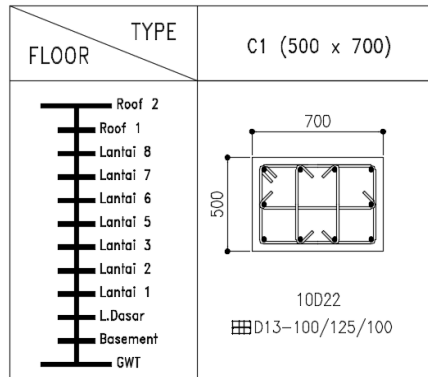
$$Vu = Vj = 1.485 \text{ kN}$$

$$Vn = 1,7 \times \sqrt{f_c} \times A_j$$

$$Vn = 1,7 \times \sqrt{30} \times 500 \times 700 = 3.259 \text{ kN}$$

$$\phi_{geser} Vn = 0,75 \times 3.259 = 2.444 \text{ kN} > Vu = 1.485 \text{ kN}$$

Jadi, kuat geser pada join HBK cukup menahan gaya geser yang terjadi.



Gambar 4.48 Detail isi tulangan kolom

4.14 Biaya pembesian balok berdasarkan SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012

Hasil dari jumlah kebutuhan tulangan pada balok antara SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012 dianalisa dengan melakukan perhitungan anggaran biaya pembesian dengan menggunakan harga HSPK di Surabaya.

Tabel 4.27 Analisa harga satuan pekerjaan pembesian dengan besi beton di Surabaya tahun 2015

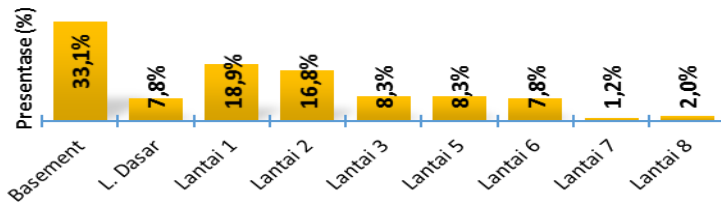
Uraian Kegiatan	Koef.	Sat.	Harga Sat.	JUMLAH
Pekerjaan pembesian dengan besi beton (polos/ulir)		kg		
<u>Upah</u>				
Mandor	0,0004	O.H	Rp 158.000,00	Rp 63,20
Kepala tukang besi	0,0007	O.H	Rp 148.000,00	Rp 103,60
Tukang besi	0,007	O.H	Rp 121.000,00	Rp 847,00
Pembantu tukang	0,007	O.H	Rp 110.000,00	Rp 770,00
			Jumlah:	Rp 1.783,80
<u>Bahan</u>				
Besi beton	1,05	kg	Rp 12.500,00	Rp 13.125,00
Kawat beton	0,015	kg	Rp 25.500,00	Rp 382,50
			Jumlah:	Rp 13.507,50
			Nilai HSPK	Rp 15.291,30

Tabel 4.28 Anggaran biaya balok B1 SNI 1726-2002

Lantai	Reinforcement	Concrete	Rasio	Harga Sat.	Total Harga
	kg	m3	kg/m3	Rp	Rp
Basement	135,75	1,34	101,00	Rp 15.291	Rp 2.076.000
L. Dasar	202,36	1,34	150,57	Rp 15.291	Rp 3.095.000
Lantai 1	204,82	1,34	152,39	Rp 15.291	Rp 3.132.000
Lantai 2	204,82	1,34	152,39	Rp 15.291	Rp 3.132.000
Lantai 3	204,82	1,34	152,39	Rp 15.291	Rp 3.132.000
Lantai 5	204,82	1,34	152,39	Rp 15.291	Rp 3.132.000
Lantai 6	202,36	1,34	150,57	Rp 15.291	Rp 3.095.000
Lantai 7	202,36	1,34	150,57	Rp 15.291	Rp 3.095.000
Lantai 8	214,52	1,34	159,61	Rp 15.291	Rp 3.281.000

Tabel 4.29 Anggaran biaya balok B1 SNI 1726-2012

Lantai	Reinforcement	Concrete	Rasio	Harga Sat.	Total Harga
	kg	m3	kg/m3	Rp	Rp
Basement	180,72	1,34	134,47	Rp 15.291	Rp 2.764.000
L. Dasar	218,09	1,34	162,27	Rp 15.291	Rp 3.335.000
Lantai 1	243,41	1,34	181,11	Rp 15.291	Rp 3.723.000
Lantai 2	239,23	1,34	177,99	Rp 15.291	Rp 3.659.000
Lantai 3	221,77	1,34	165,01	Rp 15.291	Rp 3.392.000
Lantai 5	221,77	1,34	165,01	Rp 15.291	Rp 3.392.000
Lantai 6	218,09	1,34	162,27	Rp 15.291	Rp 3.335.000
Lantai 7	204,82	1,34	152,39	Rp 15.291	Rp 3.132.000
Lantai 8	218,70	1,34	162,72	Rp 15.291	Rp 3.345.000



Gambar 4.49 Diagram persentase peningkatan biaya pembesian balok B1 berdasarkan SNI 1726-2012 terhadap SNI 1726-2002

BAB V

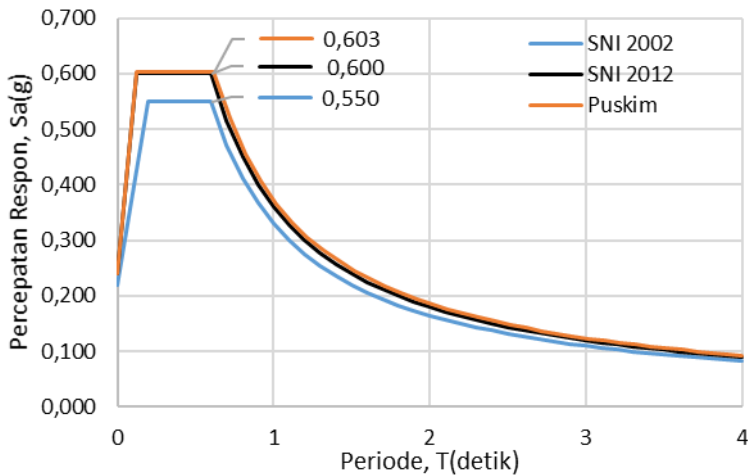
KESIMPULAN dan SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Grafik respon spektrum:

Gambar 5.1 menjelaskan bahwa dengan merencanakan pada lokasi yang sama, namun nilai puncak percepatan respon SNI 1726-2002 dan 1726-2012 mengalami peningkatan sebesar 9,1% pada titik puncaknya.



Gambar 5.1 Grafik respon spektrum antara SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012

2. Koefisien respon seismik

a) Berdasarkan SNI 1726-2002

$$K_{oef} = \frac{C \times I}{R} \times g = \frac{0,244 \times 1}{8,5} \times 9,8 = 0,281g$$

b) Berdasarkan SNI 1726-2012

$$K_{oef} = C_s \times g = 0,034 \times 9,8 = 0,333g$$

Nilai koefisien respon seismik berdasarkan SNI 1726-2002 adalah 0,281g. Nilai koefisien respon seismik berdasarkan SNI 1726-2012 adalah 0,333g. Peningkatan nilai koefisien respon seismik berdasarkan SNI 1726-2012 sebesar 18% terhadap SNI 1726-2002.

3. Gaya geser dasar nominal (V_{statik})

c) Berdasarkan SNI 1726-2002

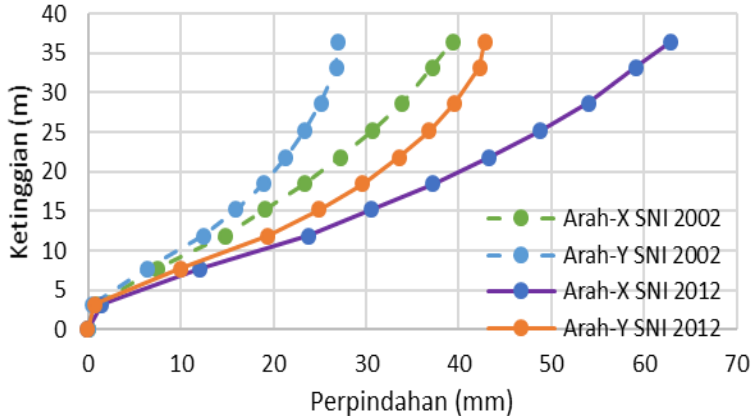
$$V_{statik} = 311.446,40 \text{ kg}$$

d) Berdasarkan SNI 1726-2012

$$V_{statik} = 368.885,29 \text{ kg}$$

Peningkatan V_{statik} berdasarkan SNI 1726-2012 sebesar 18% dari V_{statik} SNI 1726-2002.

4. Persyaratan ketika menggunakan analisa respon spektrum, gaya geser dasar nominal dari *output* analisis respon ragam pertama pada SNI 1726-2002 tidak boleh kurang dari 80% dari V_{statik} namun pada SNI 1726-2012 persyaratan meningkat menjadi tidak boleh kurang dari 85% dari V_{statik} .



Gambar 5.2 Grafik simpangan antar lantai berdasarkan SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012

5. Evaluasi simpangan antar lantai (Δs):
Gambar 5.2 menunjukkan perpindahan yang terjadi pada SNI 1726-2012 lebih besar dari pada 1726-2002, peningkatan perpindahan tiap lantai rata-rata sampai dengan 60%.
6. Output gaya dalam yang dihasilkan balok berdasarkan SNI 1725-2012 lebih besar dibanding dengan SNI 03-1726-2002. Nilai persentase peningkatan yang terjadi bervariasi yaitu dengan rata-rata sebesar 22%.
7. Jumlah tulangan lentur yang dibutuhkan balok berdasarkan SNI 1726-2012 lebih banyak dibanding dengan SNI 03-1726-2002. Nilai persentase peningkatan bervariasi yaitu dengan rata-rata sebesar 15,9%.
8. Rasio tulangan lentur pada balok dari masing-masing kebutuhan tulangan berdasarkan SNI 1726-2012 dan SNI 03-1726-2002 masih memenuhi persyaratan dalam SNI 2847-2013.
9. Anggaran biaya yang dibutuhkan balok berdasarkan SNI 1726-2012 lebih besar dibanding dengan SNI 03-1726-2002. Nilai persentase peningkatan biaya bervariasi yaitu dengan rata-rata sebesar 18,38%.
10. Output gaya dalam yang dihasilkan kolom berdasarkan SNI 1725-2012 lebih besar dibanding dengan SNI 03-1726-2002. Nilai persentase peningkatan yang terjadi bervariasi yaitu dengan rata-rata sebesar 33,4%. Namun dengan luasan tulangan lentur minimum antara SNI 03-1726-2002 dan SNI 1726-2012 masih memenuhi, maka dapat disimpulkan bahwa dimensi kolom dalam struktur tersebut cukup besar.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penyempurnaan penulisan pada penelitian ini:

1. Dari kesimpulan bahwa akibat perubahan peraturan gempa terbaru SNI 1726-2012 membuat gaya geser dasar menjadi lebih besar dibanding SNI 1726-2002, maka dari hal tersebut mengakibatkan perlunya peninjauan ulang bangunan-

bangunan yang sudah berdiri untuk dikaji ulang menggunakan peraturan terbaru.

2. Penelitian ini penulis hanya membandingkan perbedaan perilaku struktur antara elemen kolom dan balok. Penulis sarankan untuk melanjutkan membandingkan perilaku struktur bangunan bawah.
3. Model struktur yang dianalisis pada penelitian ini adalah struktur gedung beraturan, untuk pengembangan selanjutnya penulis harapkan menggunakan struktur gedung tidak beraturan.
4. Untuk penelitian lebih detail, ketika analisa berdasarkan SNI 1726-2002 lebih baik menggunakan SNI Beton 2847-2002 juga dan analisa berdasarkan SNI 1726-2012 menggunakan SNI Beton 2847-2013.

DAFTAR PUSTAKA

- Prof. Dr. Ir. Imam Satyarno, M.E, dkk. 2011. Belajar SAP2000 Seri 1. Yogyakarta: Zamil Publishing
- Prof. Dr. Ir. Imam Satyarno, M.E, dkk. 2012. Belajar SAP2000 Seri 2 Analisis Gempa. Yogyakarta: Zamil Publishing
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012). Jakarta: BSN
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013). Jakarta: BSN
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (SNI 2847-2013). Jakarta: BSN
- Kementrian Pekerjaan umum. 2010. Peta Hazard Gempa Indonesia 2010. Jakarta: KPU
- Prof. Ir. Bambang Budiono, M.E., PhD dan Lucky Supriatna, ST. 2011. Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa dengan menggunakan SNI 03-1726-2002 dan RSNI 03-1726-201x. Bandung: ITB Press
- Agus Setiawan, ST., MT. 2016. Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847-2013. Jakarta: Erlangga
- Iswandi Imran dan Fajar Hendrik. 2014. Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang. Bandung: ITB Press

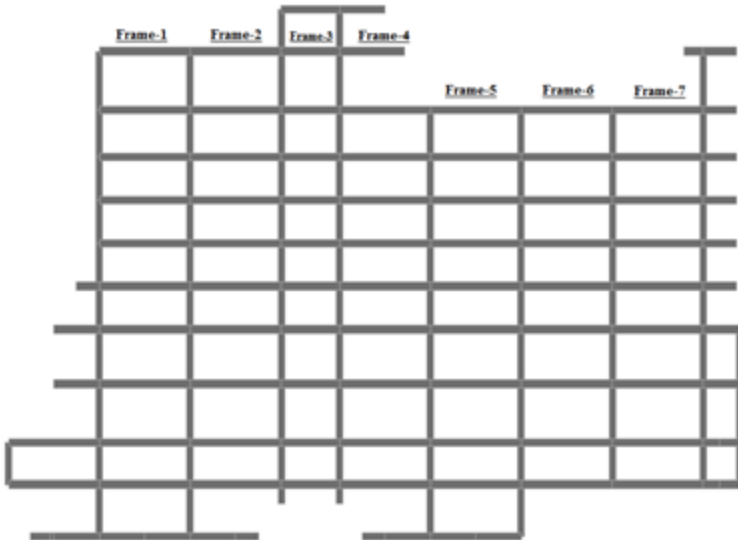
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR REVISI

Ir. Munarus Suluch, MS

❑ **Ulasan gaya dalam elemen balok portal memanjang**

Gaya dalam momen lentur yang dianalisis pada elemen balok pada grid-3 terdiri dari beberapa jenis balok, yaitu Frame-1, Frame-2, Frame-3, Frame-4, Frame-5, Frame-6, dan Frame-7 untuk setiap lantainya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar A.1.



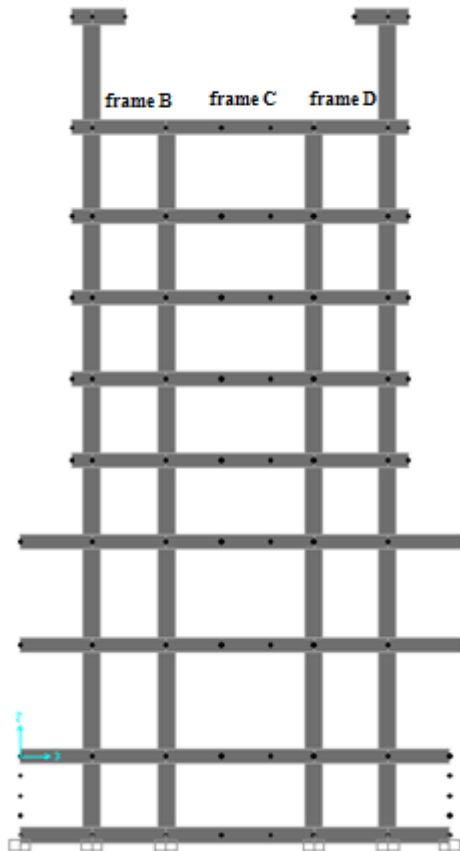
Gambar A.1 Tampak Potongan memanjang grid-3

Hasil analisis gaya dalam momen lentur pada grid-3 dapat dilihat pada tabel dan tabel A-1 dan A-2. Dapat dilihat bahwa pada tabel-tabel tersebut terdapat perbedaan antara SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012. Peningkatan gaya dalam momen lentur baik momen positif maupun negatif yang terjadi untuk setiap baloknya bervariasi dengan rata-rata

peningkatan sebesar **22%**, hal tersebut dapat dilihat pada tabel A-3.

❑ **Ulasan gaya dalam elemen balok portal melintang**

Gaya dalam momen lentur yang dianalisis pada elemen balok pada grid-I terdiri dari beberapa jenis balok, yaitu Frame-B, Frame-C, dan Frame-D untuk setiap lantainya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar A.2.



Gambar A.2 Tampak Potongan memanjang grid-I

Hasil analisis gaya dalam momen lentur pada grid-I dapat dilihat pada tabel A-4 dan tabel A-5. Dapat dilihat bahwa pada tabel-tabel tersebut terdapat perbedaan antara SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012. Peningkatan gaya dalam momen lentur baik momen positif maupun negatif yang terjadi untuk setiap baloknya bervariasi dengan rata-rata peningkatan sebesar **40%**, hal tersebut dapat dilihat pada tabel A-6.

❑ **Ulasan kebutuhan tulangan elemen balok pada portal memanjang**

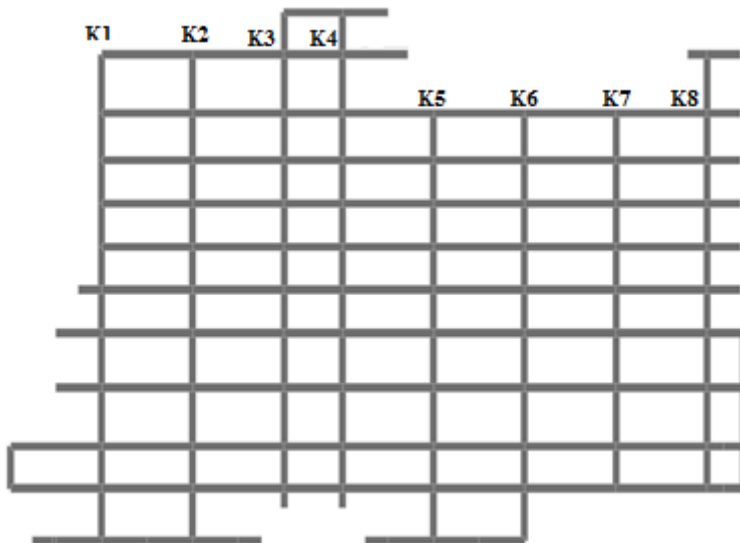
Analisis kebutuhan tulangan lentur balok pada grid-3 sesuai dengan contoh perhitungan tulangan balok berdasarkan gaya dalam SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012. Jumlah luasan tulangan yang dibutuhkan pada balok-balok pada grid-3 berdasarkan SNI 1726-2002 pada tabel A-13 dan SNI 1726-2012 pada tabel A-14 Persentase kenaikan kebutuhan jumlah tulangan balok bervariasi dengan rata-rata kenaikan sebesar **13,6%**. Nilai persentase peningkatan jumlah tulangan balok-balok tersebut dapat dilihat pada tabel A-15

❑ **Ulasan kebutuhan tulangan elemen balok pada portal melintang**

Analisis kebutuhan tulangan lentur balok pada grid-3 sesuai dengan contoh perhitungan tulangan balok berdasarkan gaya dalam SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012. Jumlah luasan tulangan yang dibutuhkan pada balok-balok pada grid-I berdasarkan SNI 1726-2002 pada tabel A-16 dan SNI 1726-2012 pada tabel A-17 Persentase kenaikan kebutuhan jumlah tulangan balok bervariasi dengan rata-rata kenaikan sebesar **14,9%**. Nilai persentase peningkatan jumlah tulangan balok-balok tersebut dapat dilihat pada tabel A-18.

❑ **Ulasan gaya dalam elemen kolom pada portal memanjang**

Gaya dalam momen lentur yang dianalisis pada elemen kolom pada grid-3 terdiri dari beberapa jenis balok, yaitu K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, dan K8 untuk setiap lantainya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar A.3

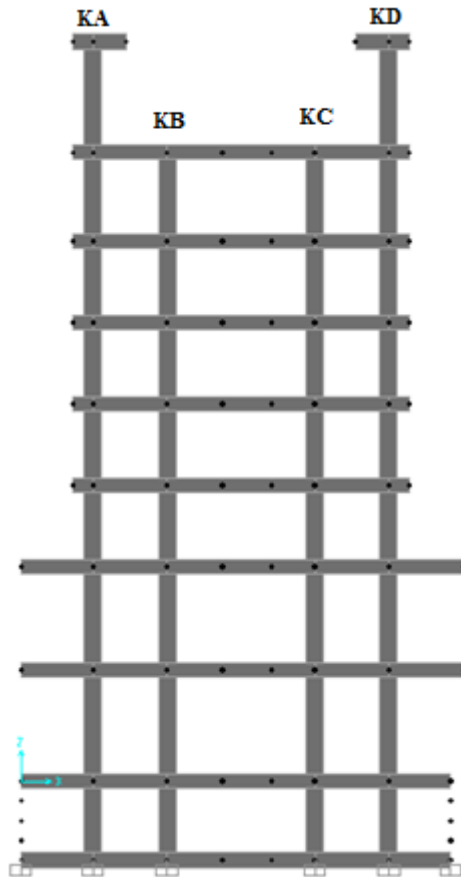


Gambar A.3 Tampak Potongan memanjang grid-3

Hasil analisis gaya dalam momen lentur pada grid-3 dapat dilihat pada tabel dan tabel A-7 dan A-8. Dapat dilihat bahwa pada tabel-tabel tersebut terdapat perbedaan antara SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012. Peningkatan gaya dalam momen lentur baik momen positif maupun negatif yang terjadi untuk setiap baloknya bervariasi dengan rata-rata peningkatan sebesar **31,5%**, hal tersebut dapat dilihat pada tabel A-9.

❑ **Ulasan gaya dalam elemen kolom pada portal melintang**

Gaya dalam momen lentur yang dianalisis pada elemen kolom pada grid-3 terdiri dari beberapa jenis balok, yaitu KA, KB, KC, dan KD untuk setiap lantainya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar A.4



Gambar A.4 Tampak Potongan memanjang grid-I
Hasil analisis gaya dalam momen lentur pada grid-I dapat dilihat pada tabel dan tabel A-10 dan A-11. Dapat dilihat bahwa pada tabel-tabel tersebut terdapat perbedaan antara

SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012. Peningkatan gaya dalam momen lentur baik momen positif maupun negatif yang terjadi untuk setiap baloknya bervariasi dengan rata-rata peningkatan sebesar **33,4%**, hal tersebut dapat dilihat pada tabel A-12.

❑ **Ulasan kebutuhan tulangan elemen kolom pada portal memanjang dan melintang**

Kebutuhan tulangan pada elemen kolom antara SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012 dengan menggunakan prosentase tulangan minimum 1% keduanya masih memenuhi. Maka dapat disimpulkan bahwa dimensi kolom sudah cukup besar.

❑ **Ulasan peningkatan biaya SNI 1726-2012 terhadap SNI 1726-2002 pada portal memanjang**

Dengan menggunakan HSPK (harga satuan pokok pekerjaan) di daerah Surabaya, kebutuhan biaya pada tulangan balok dalam portal memanjang berdasarkan SNI 1726-2002 dijelaskan pada tabel A-19 dan berdasarkan SNI 1726-2012 pada tabel A-20. Peningkatan total biaya untuk kebutuhan tulangan pada portal memanjang sebesar **13,13%**.

❑ **Ulasan peningkatan biaya SNI 1726-2012 terhadap SNI 1726-2002 pada portal melintang**

Dengan menggunakan HSPK (harga satuan pokok pekerjaan) di daerah Surabaya, kebutuhan biaya pada tulangan balok dalam portal memanjang berdasarkan SNI 1726-2002 dijelaskan pada tabel A-21 dan berdasarkan SNI 1726-2012 pada tabel A-22. Peningkatan total biaya untuk kebutuhan tulangan pada portal melintang sebesar **18,38%**.

Tabel A-1 Output Balok memanjang berdasarkan SNI 1726-2002

Lantai	Frame-1			Frame-2			Frame-3			Frame-4		
	Left (-)	Right (-)	Center (+)	Left (-)	Right (-)	Center (+)	Left (-)	Right (-)	Center (+)	Left (-)	Right (-)	Center (+)
Basement	-20.247,27	-15.732,52	10.024,79	-16.542,91	-19.579,37	9.993,54	-14.344,09	-12.292,91	1.057,24	-10.442,50	-6.779,27	7.495,96
Lantai Dasar	-19.192,37	-15.825,36	11.240,57	-16.060,92	-19.766,69	11.013,81	-12.839,19	-11.321,55	1.087,95	-20.769,00	-16.813,33	10.970,81
Lantai 1	-24.331,63	-16.548,24	9.846,79	-19.110,12	-20.248,96	10.616,50	-17.564,05	-13.523,33	1.213,00	-19.347,09	-16.280,62	10.927,31
Lantai 2	-26.895,66	-14.927,21	6.771,86	-17.731,42	-19.277,25	8.981,41	-18.882,13	-14.747,72	1.489,05	-22.236,14	-16.727,67	10.512,55
Lantai 3	-16.578,26	-16.027,55	14.368,74	-16.046,28	-17.099,61	14.273,60	-10.814,98	-9.264,00	-67,52	-21.818,41	-16.222,35	9.236,59
Lantai 5	-9.968,14	-9.159,32	10.310,92	-6.287,26	-10.051,36	6.667,14	-2.777,62	-2.535,85	1.130,86	-18.304,24	-14.957,97	14.660,79
Lantai 6	-18.174,50	-14.284,51	11.160,45	-14.860,65	-18.784,70	10.992,44	-11.329,90	-9.678,03	1.018,06	-18.061,08	-15.403,78	10.930,59
Lantai 7	-17.175,38	-12.772,21	11.073,47	-13.671,97	-17.794,85	10.924,57	-9.779,24	-7.827,16	1.039,18	-16.814,13	-14.577,08	10.859,57
Lantai 8	-18.119,80	-15.666,83	15.788,30	-16.454,78	-18.927,51	15.457,93	-10.353,75	-7.715,87	863,78	-17.576,96	-16.619,16	15.496,23
Roof 1	-9.286,17	-6.147,73	9.018,00	-6.586,23	-12.611,08	7.965,36	-7.079,45	-8.421,06	4.582,74			

Tabel A-2 Output Balok memanjang berdasarkan SNI 1726-2012

Lantai	Frame-1			Frame-2			Frame-3			Frame-4		
	Left (-)	Right (-)	Center (+)	Left (-)	Right (-)	Center (+)	Left (-)	Right (-)	Center (+)	Left (-)	Right (-)	Center (+)
Basement	-26.793,61	-21.737,50	11.238,16	-22.766,44	-25.935,46	10.393,90	-21.039,04	-18.804,95	1.411,23	-10.481,36	-7.208,52	7.825,14
Lantai Dasar	-25.127,43	-21.237,10	12.400,38	-21.737,16	-25.647,81	11.572,63	-18.598,44	-16.943,16	1.359,25	-27.219,75	-23.088,86	11.434,20
Lantai 1	-32.273,40	-23.521,23	11.190,29	-26.272,50	-27.335,84	11.464,58	-25.646,77	-21.230,14	1.733,10	-25.164,56	-21.996,94	11.409,76
Lantai 2	-36.168,20	-22.600,14	7.991,52	-25.194,42	-26.673,60	10.028,71	-27.971,72	-23.444,59	2.191,20	-29.502,17	-23.686,09	11.211,16
Lantai 3	-20.266,62	-19.694,63	14.368,74	-19.903,18	-21.010,01	14.273,60	-15.029,95	-13.356,95	-39,25	-29.477,75	-23.625,26	9.988,79
Lantai 5	-10.424,21	-9.739,98	11.085,03	-6.835,60	-10.288,55	7.153,15	-3.140,76	-2.864,82	1.130,86	-22.301,28	-18.694,69	14.660,79
Lantai 6	-23.288,11	-18.881,40	12.159,70	-19.845,27	-24.012,60	11.744,17	-16.092,58	-14.291,64	1.176,36	-23.184,55	-20.443,86	11.564,41
Lantai 7	-21.476,52	-16.566,60	12.158,76	-17.946,84	-22.331,14	11.853,13	-13.552,44	-11.410,68	1.187,79	-21.227,50	-19.002,83	11.663,23
Lantai 8	-21.793,25	-18.880,50	15.788,30	-20.160,37	-22.841,65	15.457,93	-13.360,69	-10.479,40	1.067,13	-21.171,94	-19.780,82	15.496,23
Roof 1	-11.474,63	-7.810,12	9.408,53	-8.812,21	-15.415,81	8.110,27	-8.981,95	-10.577,29	5.088,70			

Tabel A-3 Persentase kenaikan gaya dalam balok memanjang SNI 1726-2012 terhadap SNI 1726-2002

Lantai	Frame-1			Frame-2			Frame-3			Frame-4		
	Left (-)	Right (-)	Center (+)	Left (-)	Right (-)	Center (+)	Left (-)	Right (-)	Center (+)	Left (-)	Right (-)	Center (+)
Basement	32,3%	38,2%	12,1%	37,6%	32,5%	4,0%	46,7%	53,0%	33,5%	0,4%	6,3%	4,4%
Lantai Dasar	30,9%	34,2%	10,3%	35,3%	29,8%	5,1%	44,9%	49,7%	24,9%	31,1%	37,3%	4,2%
Lantai 1	32,6%	42,1%	13,6%	37,5%	35,0%	8,0%	46,0%	57,0%	42,9%	30,1%	35,1%	4,4%
Lantai 2	34,5%	51,4%	18,0%	42,1%	38,4%	11,7%	48,1%	59,0%	47,2%	32,7%	41,6%	6,6%
Lantai 3	22,2%	22,9%	0,0%	24,0%	22,9%	0,0%	39,0%	44,2%	-41,9%	35,1%	45,6%	8,1%
Lantai 5	4,6%	6,3%	7,5%	8,7%	2,4%	7,3%	13,1%	13,0%	0,0%	21,8%	25,0%	0,0%
Lantai 6	28,1%	32,2%	9,0%	33,5%	27,8%	6,8%	42,0%	47,7%	15,5%	28,4%	32,7%	5,8%
Lantai 7	25,0%	29,7%	9,8%	31,3%	25,5%	8,5%	38,6%	45,8%	14,3%	26,2%	30,4%	7,4%
Lantai 8	20,3%	20,5%	0,0%	22,5%	20,7%	0,0%	29,0%	35,8%	23,5%	20,5%	19,0%	0,0%
Roof 1	23,6%	27,0%	4,3%	33,8%	22,2%	1,8%	26,9%	25,6%	11,0%			

Tabel A-1 Output Balok memanjang berdasarkan SNI 1726-2002

Frame-5			Frame-6			Frame-7		
Left (-)	Right (-)	Center (+)	Left (-)	Right (-)	Center (+)	Left (-)	Right (-)	Center (+)
-18.656,33	-18.704,35	10.265,41	-17.922,52	-19.461,80	10.154,10	-18.549,50	-22.034,99	10.405,53
-17.220,70	-18.038,76	10.159,34	-16.530,65	-18.887,94	10.053,51	-16.798,76	-19.817,48	10.286,01
-19.777,68	-18.060,63	8.797,00	-19.096,70	-20.289,67	9.347,93	-21.304,97	-15.581,41	11.289,86
-20.018,14	-17.845,14	8.417,83	-18.766,42	-19.481,81	8.031,10	-20.717,85	-15.738,41	9.605,86
-17.480,08	-16.444,34	13.480,76	-15.129,88	-18.347,97	12.756,59	-17.982,27	-14.222,02	14.244,57
-9.144,81	-9.567,55	9.916,33	-6.408,82	-11.626,00	7.695,20	-9.031,96	-9.043,81	8.316,29
-16.037,44	-16.981,74	10.162,80	-15.445,10	-17.695,70	10.070,41	-15.376,40	-18.692,26	10.195,83
-14.991,87	-15.960,97	10.099,53	-14.403,16	-16.661,93	10.026,38	-14.082,20	-17.469,09	10.080,38
-16.291,78	-17.025,62	14.685,80	-16.057,38	-17.569,34	14.590,20	-16.164,41	-18.343,45	14.880,17

Tabel A-2 Output Balok memanjang berdasarkan SNI 1726-2012

Frame-5			Frame-6			Frame-7		
Left (-)	Right (-)	Center (+)	Left (-)	Right (-)	Center (+)	Left (-)	Right (-)	Center (+)
-24.945,47	-25.014,60	10.788,67	-24.136,15	-25.777,49	10.746,42	-25.193,93	-29.364,95	11.784,11
-22.825,78	-23.732,27	10.679,43	-22.081,50	-24.649,03	10.561,02	-22.564,70	-25.984,60	11.459,68
-26.905,09	-25.031,48	9.361,22	-26.189,74	-27.501,65	9.999,62	-28.510,90	-21.791,91	12.053,98
-27.755,59	-25.380,34	9.215,92	-26.376,88	-27.149,62	8.744,06	-28.391,92	-22.287,21	10.419,54
-21.435,32	-20.323,10	13.480,76	-18.899,77	-22.366,77	12.756,59	-21.936,76	-17.477,15	14.244,57
-9.484,69	-9.879,81	10.428,22	-6.408,82	-11.626,00	7.695,20	-9.031,96	-9.043,81	8.316,29
-20.906,57	-21.957,13	10.858,32	-20.277,03	-22.724,80	10.664,85	-20.309,91	-24.064,44	11.256,29
-19.218,29	-20.281,94	10.987,72	-18.582,87	-21.058,50	10.814,11	-18.262,98	-21.998,20	10.997,63
-19.043,37	-19.913,42	14.685,80	-18.870,78	-20.488,89	14.590,20	-19.058,45	-21.958,10	14.880,17

Tabel A-3 Persentase kenaikan gaya dalam balok memanjang SNI 1726-2012 terhadap SNI 1726-2002

Frame-5			Frame-6			Frame-7		
Left (-)	Right (-)	Center (+)	Left (-)	Right (-)	Center (+)	Left (-)	Right (-)	Center (+)
33,7%	33,7%	5,1%	34,7%	32,5%	5,8%	35,8%	33,3%	13,2%
32,5%	31,6%	5,1%	33,6%	30,5%	5,0%	34,3%	31,1%	11,4%
36,0%	38,6%	6,4%	37,1%	35,5%	7,0%	33,8%	39,9%	6,8%
38,7%	42,2%	9,5%	40,6%	39,4%	8,9%	37,0%	41,6%	8,5%
22,6%	23,6%	0,0%	24,9%	21,9%	0,0%	22,0%	22,9%	0,0%
3,7%	3,3%	5,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
30,4%	29,3%	6,8%	31,3%	28,4%	5,9%	32,1%	28,7%	10,4%
28,2%	27,1%	8,8%	29,0%	26,4%	7,9%	29,7%	25,9%	9,1%
16,9%	17,0%	0,0%	17,5%	16,6%	0,0%	17,9%	19,7%	0,0%

Tabel A-4 Output Balok melintang berdasarkan SNI 1726-2002

[illegible]

Tabel A-5 Output Balok melintang berdasarkan SNI 1726-2012

[illegible]

Tabel A-6 Persentase kenaikan gaya dalam balok melintang SNI 1726-2012 terhadap SNI 1726-2002

[illegible]

Tabel A-7 Output gaya dalam kolom memanjang SNI 1726-2002

Lantai	K1			K2			K3			K4		
	P	MX	MY	P	MX	MY	P	MX	MY	P	MX	MY
Basement	-310.194,02	10.051,90	20.089,28	-373.646,67	7.416,91	15.151,58	-344.547,99	11.548,34	9.491,18	-346.223,09	11.113,76	8.030,06
Lantai Dasar	-264.703,80	17.496,51	43.728,23	-316.300,57	19.192,99	37.488,69	-299.043,38	21.688,49	31.301,91	-300.860,91	25.582,62	29.556,84
Lantai 1	-221.397,07	12.140,48	38.367,47	-282.848,28	17.344,99	34.668,04	-265.926,53	17.634,68	29.814,06	-269.174,16	22.943,92	28.248,98
Lantai 2	-179.702,24	11.214,18	34.559,97	-241.967,18	12.758,83	31.953,33	-230.241,16	16.656,34	25.900,26	-237.022,82	19.958,62	24.086,32
Lantai 3	-147.011,48	13.361,36	31.036,04	-205.199,88	10.682,32	29.647,55	-197.137,85	16.405,68	23.783,97	-203.484,54	17.307,02	22.260,67
Lantai 5	-117.726,28	13.155,52	28.074,04	-164.047,85	9.345,31	27.162,44	-161.730,19	15.091,56	21.562,89	-170.111,53	15.643,33	20.658,33
Lantai 6	-89.681,67	11.975,34	26.425,12	-124.049,79	7.750,50	25.407,68	-126.404,39	13.090,83	19.307,56	-136.959,27	13.751,25	18.359,03
Lantai 7	-61.146,43	13.219,16	26.339,88	-84.808,48	6.292,08	26.309,23	-91.004,03	13.055,88	20.894,33	-104.239,82	13.373,39	19.346,03
Lantai 8	-24.337,76	12.098,90	22.961,21	-31.830,53	6.347,37	24.104,28	-49.280,89	9.134,17	16.723,46	-69.096,81	10.544,28	18.665,20
Roof 1							-11.740,38	3.776,09	12.916,46	-27.496,68	7.179,09	19.271,14

Tabel A-8 Output gaya dalam kolom memanjang SNI 1726-2012

Lantai	K1			K2			K3			K4		
	P	MX	MY	P	MX	MY	P	MX	MY	P	MX	MY
Basement	-348.637,97	13.658,49	28.268,05	-398.243,75	11.000,35	20.026,01	-380.433,32	14.943,55	13.646,23	-376.747,51	14.461,79	12.155,01
Lantai Dasar	-300.255,12	27.481,85	66.386,53	-344.619,22	30.492,40	55.805,78	-333.205,66	33.491,29	46.441,42	-330.953,69	37.693,40	43.385,07
Lantai 1	-250.327,02	17.486,37	56.156,15	-296.267,79	26.901,38	50.570,06	-286.704,86	27.638,58	44.061,99	-290.726,49	33.394,48	41.476,17
Lantai 2	-202.558,36	15.932,85	49.308,06	-251.377,90	20.335,04	44.874,86	-245.223,80	24.961,13	37.358,02	-253.560,36	28.565,94	34.627,12
Lantai 3	-164.521,91	17.876,80	43.641,07	-217.015,43	17.448,10	41.082,06	-209.182,45	23.961,87	33.918,91	-216.337,89	24.933,83	31.573,41
Lantai 5	-132.030,48	17.187,81	39.350,80	-176.343,56	15.255,13	37.468,85	-175.102,34	21.695,41	30.655,07	-183.380,36	22.268,48	29.047,31
Lantai 6	-101.837,12	15.400,02	36.506,58	-134.728,50	12.656,95	34.575,42	-139.557,19	18.594,25	27.258,30	-150.168,41	19.309,62	25.663,10
Lantai 7	-70.012,20	16.022,24	35.237,58	-91.779,29	10.188,44	34.349,77	-102.293,06	17.477,25	27.888,86	-115.888,34	17.743,85	25.399,64
Lantai 8	-28.946,03	14.941,04	30.487,40	-34.001,79	10.156,48	31.799,16	-55.599,08	12.344,48	22.731,50	-73.383,80	14.140,57	25.411,55
Roof 1							-14.602,38	5.014,43	17.341,14	-30.125,14	8.851,42	24.365,99

Tabel A-9 Persentase kenaikan gaya dalam kolom memanjang SNI 1726-2012 terhadap SNI 1726-2002

Lantai	K1			K2			K3			K4		
	P	MX	MY	P	MX	MY	P	MX	MY	P	MX	MY
Basement	12,4%	35,9%	40,7%	6,6%	48,3%	32,2%	10,4%	29,4%	43,8%	8,8%	30,1%	51,4%
Lantai Dasar	13,4%	57,1%	51,8%	9,0%	58,9%	48,9%	11,4%	54,4%	48,4%	10,0%	47,3%	46,8%
Lantai 1	13,1%	44,0%	46,4%	4,7%	55,1%	45,9%	7,8%	56,7%	47,8%	8,0%	45,5%	46,8%
Lantai 2	12,7%	42,1%	42,7%	3,9%	59,4%	40,4%	6,5%	49,9%	44,2%	7,0%	43,1%	43,8%
Lantai 3	11,9%	33,8%	40,6%	5,8%	63,3%	38,6%	6,1%	46,1%	42,6%	6,3%	44,1%	41,8%
Lantai 5	12,2%	30,7%	40,2%	7,5%	63,2%	37,9%	8,3%	43,8%	42,2%	7,8%	42,4%	40,6%
Lantai 6	13,6%	28,6%	38,2%	8,6%	63,3%	36,1%	10,4%	42,0%	41,2%	9,6%	40,4%	39,8%
Lantai 7	14,5%	21,2%	33,8%	8,2%	61,9%	30,6%	12,4%	33,9%	33,5%	11,2%	32,7%	31,3%
Lantai 8	18,9%	23,5%	32,8%	6,8%	60,0%	31,9%	12,8%	35,1%	35,9%	6,2%	34,1%	36,1%
Roof 1							24,4%	32,8%	34,3%	9,6%	23,3%	26,4%

Tabel A-7 Output gaya dalam kolom memanjang SNI 1726-2002

[illegible]

Tabel A-8 Output gaya dalam kolom memanjang SNI 1726-2012

[illegible]

Tabel A-9 Persentase kenaikan gaya dalam kolom memanjang SNI 1726-2012 terhadap SNI 1726-2002

[illegible]

Tabel A-10 Output gaya dalam kolom melintang SNI 1726-2002

Lantai	KA			KB			KC			KD		
	P	MX	MY	P	MX	MY	P	MX	MY	P	MX	MY
Basement	-338.022,49	6.155,18	8.386,96	-374.786,25	5.455,41	11.220,31	-380.315,67	5.677,64	9.249,01	-339.040,80	6.413,79	6.198,88
Lantai Dasar	-312.490,43	19.956,30	18.375,93	-312.871,05	19.364,47	24.553,21	-319.489,10	18.094,91	24.845,00	-315.104,55	19.469,26	19.898,56
Lantai 1	-255.431,94	16.776,66	22.596,83	-274.213,54	16.787,52	24.756,23	-278.358,98	15.802,87	24.951,67	-256.233,12	14.936,30	24.309,11
Lantai 2	-207.372,17	13.823,12	11.641,46	-230.083,09	12.963,92	22.826,77	-233.490,71	12.012,66	23.785,76	-208.442,45	12.103,30	11.148,22
Lantai 3	-170.718,48	11.376,27	7.612,52	-187.539,37	11.338,17	21.941,89	-189.849,03	12.292,44	22.659,52	-173.823,92	12.395,34	8.454,18
Lantai 5	-134.422,73	9.730,52	6.339,31	-145.451,98	9.806,02	21.076,22	-147.234,27	10.794,36	22.128,50	-136.716,93	10.974,52	6.873,52
Lantai 6	-102.457,47	8.351,60	6.272,34	-103.578,89	8.199,94	17.922,95	-104.927,05	9.164,13	18.940,54	-103.995,86	9.625,89	6.892,91
Lantai 7	-73.512,20	6.504,82	7.391,02	-61.985,12	8.240,39	27.410,43	-62.959,43	9.393,04	28.813,48	-74.342,62	7.736,61	6.796,84
Lantai 8	-39.567,63	7.608,46	10.086,68							-39.851,75	7.923,70	10.008,90

Tabel A-11 Output gaya dalam kolom melintang SNI 1726-2012

Lantai	KA			KB			KC			KD		
	P	MX	MY	P	MX	MY	P	MX	MY	P	MX	MY
Basement	-391.567,68	9.849,19	11.627,13	-396.483,10	8.800,59	13.727,52	-402.714,51	8.883,76	11.586,48	-392.421,87	9.746,22	8.212,49
Lantai Dasar	-363.836,67	31.410,24	26.221,42	-337.511,19	30.579,82	35.264,41	-344.914,97	29.158,93	35.564,23	-366.509,05	30.695,24	26.705,92
Lantai 1	-296.635,49	25.732,67	29.335,81	-289.425,21	25.804,91	34.679,06	-294.106,98	24.866,16	34.902,74	-297.468,19	23.848,86	31.248,28
Lantai 2	-239.344,54	21.837,39	16.714,92	-238.226,29	20.703,44	31.758,58	-241.968,55	19.646,02	32.821,57	-240.600,68	19.769,06	16.213,42
Lantai 3	-195.455,33	18.609,95	11.934,32	-191.978,01	18.302,65	30.429,57	-194.462,26	19.328,70	31.216,67	-198.911,02	19.542,84	12.502,60
Lantai 5	-152.561,97	15.930,37	9.980,24	-148.457,79	15.807,00	28.803,87	-150.309,30	16.876,14	29.959,45	-155.128,69	17.148,96	10.556,12
Lantai 6	-111.589,24	13.574,73	9.401,72	-104.919,35	13.122,69	24.419,68	-106.273,21	14.157,75	25.535,82	-113.254,63	14.820,23	10.076,21
Lantai 7	-73.512,20	10.544,27	7.391,02	-61.985,12	13.161,83	34.861,39	-62.959,43	14.381,41	36.389,15	-74.342,62	11.809,46	6.796,84
Lantai 8	-39.567,63	11.915,18	10.086,68							-39.851,75	12.018,62	10.008,90

Tabel A-12 Persentase kenaikan gaya dalam kolom melintang SNI 1726-2012 terhadap SNI 1726-2002

Lantai	KA			KB			KC			KD		
	P	MX	MY	P	MX	MY	P	MX	MY	P	MX	MY
Basement	15,8%	60,0%	38,6%	5,8%	61,3%	22,3%	5,9%	56,5%	25,3%	15,7%	52,0%	32,5%
Lantai Dasar	16,4%	57,4%	42,7%	7,9%	57,9%	43,6%	8,0%	61,1%	43,1%	16,3%	57,7%	34,2%
Lantai 1	16,1%	53,4%	29,8%	5,5%	53,7%	40,1%	5,7%	57,4%	39,9%	16,1%	59,7%	28,5%
Lantai 2	15,4%	58,0%	43,6%	3,5%	59,7%	39,1%	3,6%	63,5%	38,0%	15,4%	63,3%	45,4%
Lantai 3	14,5%	63,6%	56,8%	2,4%	61,4%	38,7%	2,4%	57,2%	37,8%	14,4%	57,7%	47,9%
Lantai 5	13,5%	63,7%	57,4%	2,1%	61,2%	36,7%	2,1%	56,3%	35,4%	13,5%	56,3%	53,6%
Lantai 6	8,9%	62,5%	49,9%	1,3%	60,0%	36,2%	1,3%	54,5%	34,8%	8,9%	54,0%	46,2%
Lantai 7	0,0%	62,1%	0,0%	0,0%	59,7%	27,2%	0,0%	53,1%	26,3%	0,0%	52,6%	0,0%
Lantai 8	0,0%	56,6%	0,0%							0,0%	51,7%	0,0%

Tabel A-13 Kebutuhan tulangan balok potongan memanjang berdasarkan SNI 1726-2002 (mm²)

Lantai	Frame-1						Frame-2					
	Left		Mid		Right		Left		Mid		Right	
	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom
Basement	1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.134,11	567,06	1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59
Lantai Dasar	1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59	1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59
Lantai 1	1.701,17	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59	1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59
Lantai 2	1.984,70	1.134,11	850,59	1.134,11	1.134,11	1.134,11	1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59
Lantai 3	1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59	1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59
Lantai 5	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06	1.134,11	567,06	850,59	1.134,11	1.134,11	850,59
Lantai 6	1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.134,11	567,06	1.134,11	567,06	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59
Lantai 7	1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.134,11	567,06	1.134,11	567,06	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59
Lantai 8	1.417,64	850,59	850,59	1.417,64	1.417,64	850,59	1.417,64	850,59	850,59	1.417,64	1.417,64	850,59

Tabel A-14 Kebutuhan tulangan balok potongan memanjang berdasarkan SNI 1726-2012 (mm²)

Lantai	Frame-1						Frame-2					
	Left		Mid		Right		Left		Mid		Right	
	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom
Basement	1.701,17	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59	1.701,17	850,59	850,59	1.134,11	1.701,17	850,59
Lantai Dasar	1.701,17	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59	1.701,17	850,59	850,59	1.134,11	1.701,17	850,59
Lantai 1	2.268,23	1.134,11	850,59	1.134,11	1.701,17	1.134,11	1.701,17	1.134,11	850,59	1.134,11	1.984,70	1.134,11
Lantai 2	2.268,23	1.134,11	850,59	1.134,11	1.701,17	1.417,64	1.701,17	1.134,11	850,59	1.134,11	1.701,17	1.134,11
Lantai 3	1.701,17	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59	1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.701,17	850,59
Lantai 5	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06	1.134,11	567,06	850,59	1.134,11	1.134,11	850,59
Lantai 6	1.701,17	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59	1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.701,17	850,59
Lantai 7	1.701,17	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59	1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.701,17	850,59
Lantai 8	1.701,17	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59	1.417,64	850,59	850,59	1.417,64	1.701,17	850,59

Tabel A-15 Persentase kenaikan kebutuhan tulangan balok potongan memanjang berdasarkan SNI 1726-2012

[illegible]

Tabel A-13 Kebutuhan tulangan balok potongan memanjang berdasarkan SNI 1726-2002 (mm²)

Frame-3						Frame-4					
Left		Mid		Right		Left		Mid		Right	
Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom
1.134,11	850,59	850,59	1.134,11	1.134,11	850,59	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06
1.134,11	850,59	850,59	1.134,11	1.134,11	850,59	1.701,17	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59
1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.134,11	1.134,11	1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59
1.417,64	1.134,11	850,59	1.134,11	1.134,11	1.134,11	1.701,17	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59
850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06	1.701,17	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59
850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06	1.417,64	850,59	850,59	1.417,64	1.417,64	850,59
1.134,11	850,59	850,59	1.134,11	1.134,11	850,59	1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59
1.134,11	567,06	850,59	1.134,11	1.134,11	567,06	1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.134,11	567,06
1.134,11	567,06	850,59	1.134,11	1.134,11	567,06	1.417,64	850,59	850,59	1.417,64	1.417,64	850,59

Tabel A-14 Kebutuhan tulangan balok potongan memanjang berdasarkan SNI 1726-2012 (mm²)

Frame-3						Frame-4					
Left		Mid		Right		Left		Mid		Right	
Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom
1.417,64	1.134,11	850,59	1.134,11	1.417,64	1.417,64	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06
1.417,64	1.134,11	850,59	1.134,11	1.417,64	1.134,11	1.984,70	1.134,11	850,59	1.134,11	1.701,17	1.134,11
1.701,17	1.417,64	850,59	1.134,11	1.417,64	1.417,64	1.701,17	850,59	850,59	1.134,11	1.701,17	850,59
1.984,70	1.417,64	850,59	1.134,11	1.701,17	1.701,17	1.984,70	1.134,11	850,59	1.134,11	1.701,17	1.134,11
850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06	1.984,70	1.134,11	850,59	1.134,11	1.701,17	1.417,64
850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06	1.701,17	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59
1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.134,11	1.134,11	1.701,17	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59
1.134,11	850,59	850,59	1.134,11	1.134,11	850,59	1.701,17	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59
1.134,11	567,06	850,59	1.134,11	1.134,11	850,59	1.701,17	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59

Tabel A-15 Persentase kenaikan kebutuhan tulangan balok potongan memanjang berdasarkan SNI 1726-2012

Frame-3						Frame-4					
Left		Mid		Right		Left		Mid		Right	
Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom
25,0%	33,3%	0,0%	0,0%	25,0%	66,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
25,0%	33,3%	0,0%	0,0%	25,0%	33,3%	16,7%	33,3%	0,0%	0,0%	20,0%	33,3%
20,0%	66,7%	0,0%	0,0%	25,0%	25,0%	20,0%	0,0%	0,0%	0,0%	20,0%	0,0%
40,0%	25,0%	0,0%	0,0%	50,0%	50,0%	16,7%	33,3%	0,0%	0,0%	20,0%	33,3%
0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	16,7%	33,3%	0,0%	0,0%	20,0%	66,7%
0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	20,0%	0,0%	0,0%	-20,0%	0,0%	0,0%
25,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%	20,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
0,0%	50,0%	0,0%	0,0%	0,0%	50,0%	20,0%	0,0%	0,0%	0,0%	25,0%	50,0%
0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	50,0%	20,0%	0,0%	0,0%	-20,0%	0,0%	0,0%

Tabel A-13 Kebutuhan tulangan balok potongan memanjang berdasarkan SNI 1726-2002 (mm²)

Frame-5						Frame-6					
Left		Mid		Right		Left		Mid		Right	
Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom
1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59	1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59
1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59	1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59
1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59	1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.701,17	850,59
1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59	1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59
1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59	850,59	567,06	567,06	850,59	1.134,11	567,06
850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06	1.134,11	567,06	850,59	1.134,11	1.134,11	850,59
1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59	1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59
1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59	1.134,11	567,06	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59
1.417,64	850,59	850,59	1.417,64	1.417,64	850,59	1.134,11	567,06	567,06	850,59	1.134,11	567,06

Tabel A-14 Kebutuhan tulangan balok potongan memanjang berdasarkan SNI 1726-2012 (mm²)

Frame-5						Frame-6					
Left		Mid		Right		Left		Mid		Right	
Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom
1.701,17	850,59	850,59	1.134,11	1.701,17	850,59	1.701,17	850,59	1.134,11	1.134,11	1.984,70	1.134,11
1.701,17	850,59	850,59	1.134,11	1.701,17	850,59	1.701,17	850,59	850,59	1.134,11	1.701,17	850,59
1.984,70	1.134,11	850,59	1.134,11	1.701,17	1.134,11	1.984,70	1.134,11	850,59	1.134,11	1.984,70	1.134,11
1.984,70	1.134,11	850,59	1.134,11	1.701,17	1.417,64	1.984,70	1.417,64	850,59	1.134,11	1.984,70	1.134,11
1.701,17	850,59	850,59	1.134,11	1.701,17	850,59	1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.701,17	850,59
1.134,11	850,59	850,59	1.134,11	1.134,11	850,59	1.134,11	567,06	850,59	1.134,11	1.134,11	850,59
1.701,17	850,59	850,59	1.134,11	1.701,17	850,59	1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.701,17	850,59
1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59	1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.701,17	850,59
1.417,64	850,59	850,59	1.417,64	1.701,17	850,59	1.417,64	850,59	850,59	1.417,64	1.701,17	850,59

Tabel A-15 Persentase kenaikan kebutuhan tulangan balok potongan memanjang berdasarkan SNI 1726-2012

Frame-5						Frame-6					
Left		Mid		Right		Left		Mid		Right	
Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom
20,0%	0,0%	0,0%	0,0%	20,0%	0,0%	20,0%	0,0%	33,3%	0,0%	40,0%	33,3%
20,0%	0,0%	0,0%	0,0%	20,0%	0,0%	20,0%	0,0%	0,0%	0,0%	20,0%	0,0%
40,0%	33,3%	0,0%	0,0%	20,0%	33,3%	40,0%	33,3%	0,0%	0,0%	16,7%	33,3%
40,0%	33,3%	0,0%	0,0%	20,0%	66,7%	40,0%	66,7%	0,0%	0,0%	40,0%	33,3%
20,0%	0,0%	0,0%	0,0%	20,0%	0,0%	66,7%	50,0%	50,0%	33,3%	50,0%	50,0%
33,3%	50,0%	50,0%	33,3%	33,3%	50,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
20,0%	0,0%	0,0%	0,0%	20,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	20,0%	0,0%
0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	25,0%	50,0%	0,0%	0,0%	20,0%	0,0%
0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	20,0%	0,0%	25,0%	50,0%	50,0%	66,7%	50,0%	50,0%

Tabel A-13 Kebutuhan tulangan balok potongan memanjang berdasar

Frame-7					
Left		Mid		Right	
Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom
1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.701,17	850,59
1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59
1.701,17	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59
1.701,17	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59
1.134,11	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06
850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06
1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59
1.134,11	567,06	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59
1.417,64	850,59	850,59	1.417,64	1.417,64	850,59

Tabel A-14 Kebutuhan tulangan balok potongan memanjang berdasar

Frame-7					
Left		Mid		Right	
Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom
1.701,17	1.134,11	1.134,11	1.134,11	1.984,70	1.134,11
1.701,17	850,59	1.134,11	1.134,11	1.984,70	1.134,11
1.984,70	1.134,11	850,59	1.134,11	1.701,17	1.134,11
1.984,70	1.134,11	850,59	1.134,11	1.701,17	1.134,11
1.701,17	850,59	850,59	1.134,11	1.417,64	850,59
850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06
1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.701,17	850,59
1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.701,17	850,59
1.417,64	850,59	850,59	1.134,11	1.701,17	850,59

Tabel A-15 Persentase kenaikan kebutuhan tulangan balok potongan

Frame-7					
Left		Mid		Right	
Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom
20,0%	33,3%	33,3%	0,0%	16,7%	33,3%
20,0%	0,0%	33,3%	0,0%	40,0%	33,3%
16,7%	33,3%	0,0%	0,0%	20,0%	33,3%
16,7%	33,3%	0,0%	0,0%	20,0%	33,3%
50,0%	50,0%	50,0%	33,3%	66,7%	50,0%
0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	20,0%	0,0%
25,0%	50,0%	0,0%	0,0%	20,0%	0,0%
0,0%	0,0%	0,0%	-20,0%	20,0%	0,0%

Tabel A-16 Kebutuhan tulangan balok potongan melintang berdasarkan SNI 1726-2002 (mm²)

Lantai	Frame-B						Frame-C						Frame-D					
	Left		Mid		Right		Left		Mid		Right		Left		Mid		Right	
	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom
Basement	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06	1701,17	850,59	850,59	1134,11	1701,17	850,59	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06
Lantai Dasar	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06	1701,17	850,59	850,59	1134,11	1701,17	850,59	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06
Lantai 1	1134,11	567,06	567,06	850,59	850,59	850,59	1701,17	850,59	850,59	1134,11	1701,17	850,59	850,59	567,06	567,06	850,59	1134,11	567,06
Lantai 2	1417,64	850,59	567,06	850,59	850,59	850,59	1417,64	850,59	850,59	1134,11	1417,64	850,59	850,59	567,06	567,06	850,59	1417,64	850,59
Lantai 3	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06	1417,64	850,59	850,59	1134,11	1417,64	850,59	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06
Lantai 5	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06
Lantai 6	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06	1417,64	850,59	850,59	1134,11	1701,17	850,59	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06
Lantai 7	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06	1417,64	850,59	850,59	1134,11	1701,17	850,59	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06
Lantai 8	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06	1134,11	567,06	567,06	1134,11	1134,11	567,06	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06

Tabel A-17 Kebutuhan tulangan balok potongan melintang berdasarkan SNI 1726-2012 (mm²)

Lantai	Frame-B						Frame-C						Frame-D					
	Left		Mid		Right		Left		Mid		Right		Left		Mid		Right	
	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom
Basement	1134,11	850,59	567,06	850,59	850,59	1134,11	1984,7	1134,11	850,59	1134,11	1984,7	1134,11	850,59	1134,11	567,06	850,59	1134,11	850,59
Lantai Dasar	1134,11	850,59	567,06	850,59	850,59	850,59	1984,7	1134,11	850,59	1134,11	1984,7	1134,11	850,59	850,59	567,06	850,59	1134,11	850,59
Lantai 1	1417,64	1134,11	567,06	850,59	850,59	1134,11	1984,7	1134,11	850,59	1134,11	1984,7	1134,11	850,59	1134,11	567,06	850,59	1417,64	1134,11
Lantai 2	1701,17	1134,11	567,06	850,59	1134,11	1134,11	1984,7	1134,11	1134,11	1134,11	1984,7	1134,11	1134,11	1134,11	567,06	850,59	1701,17	1134,11
Lantai 3	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06	1701,17	850,59	850,59	1134,11	1701,17	850,59	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	850,59
Lantai 5	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06
Lantai 6	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	850,59	1984,7	1134,11	850,59	1134,11	1984,7	1134,11	850,59	850,59	567,06	850,59	1134,11	567,06
Lantai 7	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06	1701,17	850,59	850,59	1134,11	1984,7	1134,11	850,59	850,59	567,06	850,59	850,59	567,06
Lantai 8	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06	1701,17	850,59	850,59	1417,64	1701,17	850,59	850,59	567,06	567,06	850,59	850,59	567,06

Tabel A-18 Persentase kenaikan kebutuhan tulangan balok potongan melintang berdasarkan SNI 1726-2012

Lantai	Frame-B						Frame-C						Frame-D					
	Left		Mid		Right		Left		Mid		Right		Left		Mid		Right	
	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom
Basement	33,3%	50,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	16,7%	33,3%	0,0%	0,0%	16,7%	33,3%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	33,3%	50,0%
Lantai Dasar	33,3%	50,0%	0,0%	0,0%	0,0%	50,0%	16,7%	33,3%	0,0%	0,0%	16,7%	33,3%	0,0%	50,0%	0,0%	0,0%	33,3%	50,0%
Lantai 1	25,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%	16,7%	33,3%	0,0%	0,0%	16,7%	33,3%	0,0%	33,3%	0,0%	0,0%	25,0%	100,0%
Lantai 2	20,0%	33,3%	0,0%	0,0%	33,3%	33,3%	40,0%	33,3%	33,3%	0,0%	40,0%	33,3%	33,3%	33,3%	0,0%	0,0%	20,0%	33,3%
Lantai 3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	20,0%	0,0%	0,0%	0,0%	20,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	50,0%
Lantai 5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Lantai 6	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	50,0%	40,0%	33,3%	0,0%	0,0%	16,7%	33,3%	0,0%	50,0%	0,0%	0,0%	33,3%	0,0%
Lantai 7	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	20,0%	0,0%	0,0%	0,0%	16,7%	33,3%	0,0%	50,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Lantai 8	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	50,0%	50,0%	50,0%	25,0%	50,0%	50,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabel A-19 Kebutuhan biaya berdasarkan SNI 1726-2002 pada portal memanjang

Lantai	Frame 1					Frame 2					Frame 3				
	Reinforcement	Concrete	Rasio	Harga Sat.	Total Harga	Reinforcement	Concrete	Rasio	Harga Sat.	Total Harga	Reinforcement	Concrete	Rasio	Harga Sat.	Total Harga
	kg	m3	kg/m3	Rp	Rp	kg	m3	kg/m3	Rp	Rp	kg	m3	kg/m3	Rp	Rp
Basement	202,59	1,34	150,74	15.291,30	3.098.000,00	207,27	1,34	154,22	15.291,30	3.170.000,00	195,23	1,34	145,26	15.291,30	2.986.000,00
L. Dasar	213,41	1,34	158,79	15.291,30	3.264.000,00	207,27	1,34	154,22	15.291,30	3.170.000,00	191,54	1,34	142,52	15.291,30	2.929.000,00
Lantai 1	220,04	1,34	163,72	15.291,30	3.365.000,00	213,41	1,34	158,79	15.291,30	3.264.000,00	206,04	1,34	153,31	15.291,30	3.151.000,00
Lantai 2	225,95	1,34	168,12	15.291,30	3.456.000,00	208,50	1,34	155,13	15.291,30	3.189.000,00	210,22	1,34	156,42	15.291,30	3.215.000,00
Lantai 3	202,36	1,34	150,57	15.291,30	3.095.000,00	202,36	1,34	150,57	15.291,30	3.095.000,00	135,75	1,34	101,00	15.291,30	2.076.000,00
Lantai 5	135,75	1,34	101,00	15.291,30	2.076.000,00	184,91	1,34	137,58	15.291,30	2.828.000,00	135,75	1,34	101,00	15.291,30	2.076.000,00
Lantai 6	196,45	1,34	146,17	15.291,30	3.005.000,00	194,00	1,34	144,34	15.291,30	2.967.000,00	191,54	1,34	142,52	15.291,30	2.929.000,00
Lantai 7	196,45	1,34	146,17	15.291,30	3.005.000,00	191,54	1,34	142,52	15.291,30	2.929.000,00	183,18	1,34	136,29	15.291,30	2.802.000,00
Lantai 8	216,97	1,34	161,44	15.291,30	3.318.000,00	214,52	1,34	159,61	15.291,30	3.281.000,00	183,18	1,34	136,29	15.291,30	2.802.000,00

Tabel A-20 Kebutuhan biaya berdasarkan SNI 1726-2012 pada portal memanjang

Lantai	Frame 1					Frame 2					Frame 3				
	Reinforcement	Concrete	Rasio	Harga Sat.	Total Harga	Reinforcement	Concrete	Rasio	Harga Sat.	Total Harga	Reinforcement	Concrete	Rasio	Harga Sat.	Total Harga
	kg	m3	kg/m3	Rp	Rp	kg	m3	kg/m3	Rp	Rp	kg	m3	kg/m3	Rp	Rp
Basement	242,14	1,34	180,16	15.291,30	3.703.000,00	231,59	1,34	172,32	15.291,30	3.542.000,00	228,41	1,34	169,95	15.291,30	3.493.000,00
L. Dasar	227,41	1,34	169,20	15.291,30	3.478.000,00	226,68	1,34	168,66	15.291,30	3.467.000,00	216,86	1,34	161,35	15.291,30	3.317.000,00
Lantai 1	286,37	1,34	213,07	15.291,30	4.380.000,00	273,60	1,34	203,57	15.291,30	4.184.000,00	250,27	1,34	186,22	15.291,30	3.828.000,00
Lantai 2	275,82	1,34	205,23	15.291,30	4.218.000,00	239,95	1,34	178,54	15.291,30	3.670.000,00	280,00	1,34	208,34	15.291,30	4.282.000,00
Lantai 3	213,91	1,34	159,16	15.291,30	3.271.000,00	211,45	1,34	157,33	15.291,30	3.234.000,00	135,75	1,34	101,00	15.291,30	2.076.000,00
Lantai 5	135,75	1,34	101,00	15.291,30	2.076.000,00	184,91	1,34	137,58	15.291,30	2.828.000,00	135,75	1,34	101,00	15.291,30	2.076.000,00
Lantai 6	227,41	1,34	169,20	15.291,30	3.478.000,00	220,04	1,34	163,72	15.291,30	3.365.000,00	206,04	1,34	153,31	15.291,30	3.151.000,00
Lantai 7	220,04	1,34	163,72	15.291,30	3.365.000,00	217,59	1,34	161,90	15.291,30	3.328.000,00	195,23	1,34	145,26	15.291,30	2.986.000,00
Lantai 8	222,50	1,34	165,55	15.291,30	3.403.000,00	223,61	1,34	166,38	15.291,30	3.420.000,00	191,04	1,34	142,15	15.291,30	2.922.000,00

Frame 4					Frame 5					Frame 6					Frame 7					Grand Total
Reinforcement	Concrete	Rasio	Harga Sat.	Total Harga	Reinforcement	Concrete	Rasio	Harga Sat.	Total Harga	Reinforcement	Concrete	Rasio	Harga Sat.	Total Harga	Reinforcement	Concrete	Rasio	Harga Sat.	Total Harga	
kg	m3	kg/m3	Rp	Rp	kg	m3	kg/m3	Rp	Rp	kg	m3	kg/m3	Rp	Rp	kg	m3	kg/m3	Rp	Rp	
135,75	1,34	101,00	15.291,30	2.076.000,00	204,82	1,34	152,39	15.291,30	3.132.000,00	202,36	1,34	150,57	15.291,30	3.095.000,00	206,54	1,34	153,68	15.291,30	3.159.000,00	20.716.000,00
211,45	1,34	157,33	15.291,30	3.234.000,00	204,82	1,34	152,39	15.291,30	3.132.000,00	199,90	1,34	148,74	15.291,30	3.057.000,00	202,36	1,34	150,57	15.291,30	3.095.000,00	21.881.000,00
204,82	1,34	152,39	15.291,30	3.132.000,00	204,82	1,34	152,39	15.291,30	3.132.000,00	206,54	1,34	153,68	15.291,30	3.159.000,00	211,45	1,34	157,33	15.291,30	3.234.000,00	22.437.000,00
211,45	1,34	157,33	15.291,30	3.234.000,00	202,36	1,34	150,57	15.291,30	3.095.000,00	199,90	1,34	148,74	15.291,30	3.057.000,00	206,54	1,34	153,68	15.291,30	3.159.000,00	22.405.000,00
215,13	1,34	160,07	15.291,30	3.290.000,00	202,36	1,34	150,57	15.291,30	3.095.000,00	139,93	1,34	104,11	15.291,30	2.140.000,00	139,93	1,34	104,11	15.291,30	2.140.000,00	18.931.000,00
209,61	1,34	155,96	15.291,30	3.206.000,00	135,75	1,34	101,00	15.291,30	2.076.000,00	184,91	1,34	137,58	15.291,30	2.828.000,00	135,75	1,34	101,00	15.291,30	2.076.000,00	17.166.000,00
204,82	1,34	152,39	15.291,30	3.132.000,00	202,36	1,34	150,57	15.291,30	3.095.000,00	199,90	1,34	148,74	15.291,30	3.057.000,00	199,90	1,34	148,74	15.291,30	3.057.000,00	21.242.000,00
189,09	1,34	140,69	15.291,30	2.892.000,00	202,36	1,34	150,57	15.291,30	3.095.000,00	189,09	1,34	140,69	15.291,30	2.892.000,00	189,09	1,34	140,69	15.291,30	2.892.000,00	20.507.000,00
216,97	1,34	161,44	15.291,30	3.318.000,00	214,52	1,34	159,61	15.291,30	3.281.000,00	144,11	1,34	107,22	15.291,30	2.204.000,00	214,52	1,34	159,61	15.291,30	3.281.000,00	21.485.000,00
																				186.770.000,00

Frame 4					Frame 5					Frame 6					Frame 7					Grand Total
Reinforcement	Concrete	Rasio	Harga Sat.	Total Harga	Reinforcement	Concrete	Rasio	Harga Sat.	Total Harga	Reinforcement	Concrete	Rasio	Harga Sat.	Total Harga	Reinforcement	Concrete	Rasio	Harga Sat.	Total Harga	
kg	m3	kg/m3	Rp	Rp	kg	m3	kg/m3	Rp	Rp	kg	m3	kg/m3	Rp	Rp	kg	m3	kg/m3	Rp	Rp	
135,75	1,34	101,00	15.291,30	2.076.000,00	221,77	1,34	165,01	15.291,30	3.392.000,00	239,84	1,34	178,45	15.291,30	3.668.000,00	244,02	1,34	181,56	15.291,30	3.732.000,00	23.606.000,00
253,96	1,34	188,96	15.291,30	3.884.000,00	221,77	1,34	165,01	15.291,30	3.392.000,00	218,09	1,34	162,27	15.291,30	3.335.000,00	233,70	1,34	173,88	15.291,30	3.574.000,00	24.447.000,00
224,23	1,34	166,83	15.291,30	3.429.000,00	239,23	1,34	177,99	15.291,30	3.659.000,00	243,41	1,34	181,11	15.291,30	3.723.000,00	239,23	1,34	177,99	15.291,30	3.659.000,00	26.862.000,00
258,87	1,34	192,61	15.291,30	3.959.000,00	240,95	1,34	179,28	15.291,30	3.685.000,00	245,13	1,34	182,39	15.291,30	3.749.000,00	236,77	1,34	176,17	15.291,30	3.621.000,00	27.184.000,00
263,05	1,34	195,72	15.291,30	4.023.000,00	218,09	1,34	162,27	15.291,30	3.335.000,00	209,00	1,34	155,50	15.291,30	3.196.000,00	209,00	1,34	155,50	15.291,30	3.196.000,00	22.331.000,00
211,45	1,34	157,33	15.291,30	3.234.000,00	189,09	1,34	140,69	15.291,30	2.892.000,00	184,91	1,34	137,58	15.291,30	2.828.000,00	135,75	1,34	101,00	15.291,30	2.076.000,00	18.010.000,00
217,59	1,34	161,90	15.291,30	3.328.000,00	218,09	1,34	162,27	15.291,30	3.335.000,00	211,45	1,34	157,33	15.291,30	3.234.000,00	211,45	1,34	157,33	15.291,30	3.234.000,00	23.125.000,00
213,91	1,34	159,16	15.291,30	3.271.000,00	207,27	1,34	154,22	15.291,30	3.170.000,00	211,45	1,34	157,33	15.291,30	3.234.000,00	211,45	1,34	157,33	15.291,30	3.234.000,00	22.588.000,00
222,50	1,34	165,55	15.291,30	3.403.000,00	218,70	1,34	162,72	15.291,30	3.345.000,00	218,70	1,34	162,72	15.291,30	3.345.000,00	216,36	1,34	160,98	15.291,30	3.309.000,00	22.147.000,00
																				211.300.000,00

Tabel A-21 Kebutuhan biaya berdasarkan SNI 1726-2002 pada portal melintang

Lantai	Frame B					Frame C					Frame D					Grand Total
	Reinforcement	Concrete	Rasio	Harga Sat.	Total Harga	Reinforcement	Concrete	Rasio	Harga Sat.	Total Harga	Reinforcement	Concrete	Rasio	Harga Sat.	Total Harga	
	kg	m3	kg/m3	Rp	Rp	kg	m3	kg/m3	Rp	Rp	kg	m3	kg/m3	Rp	Rp	
Basement	55,55	0,58	96,44	15.291,30	850.000,00	96,14	1,15	83,45	15.291,30	1.471.000,00	55,55	0,58	96,44	15.291,30	850.000,00	3.171.000,00
L. Dasar	55,55	0,58	96,44	15.291,30	850.000,00	96,14	1,15	83,45	15.291,30	1.471.000,00	55,55	0,58	96,44	15.291,30	850.000,00	3.171.000,00
Lantai 1	59,67	0,58	103,60	15.291,30	913.000,00	97,37	1,15	84,52	15.291,30	1.489.000,00	59,67	0,58	103,60	15.291,30	913.000,00	3.315.000,00
Lantai 2	63,80	0,58	110,76	15.291,30	976.000,00	93,24	1,15	80,94	15.291,30	1.426.000,00	63,80	0,58	110,76	15.291,30	976.000,00	3.378.000,00
Lantai 3	55,55	0,58	96,44	15.291,30	850.000,00	92,01	1,15	79,87	15.291,30	1.407.000,00	55,55	0,58	96,44	15.291,30	850.000,00	3.107.000,00
Lantai 5	55,55	0,58	96,44	15.291,30	850.000,00	55,55	1,15	48,22	15.291,30	850.000,00	55,55	0,58	96,44	15.291,30	850.000,00	2.550.000,00
Lantai 6	55,55	0,58	96,44	15.291,30	850.000,00	94,08	1,15	81,66	15.291,30	1.439.000,00	55,55	0,58	96,44	15.291,30	850.000,00	3.139.000,00
Lantai 7	55,55	0,58	96,44	15.291,30	850.000,00	94,08	1,15	81,66	15.291,30	1.439.000,00	55,55	0,58	96,44	15.291,30	850.000,00	3.139.000,00
Lantai 8	55,55	0,58	96,44	15.291,30	850.000,00	62,24	1,15	54,03	15.291,30	952.000,00	55,55	0,58	96,44	15.291,30	850.000,00	2.652.000,00
																27.622.000,00

Tabel A-22 Kebutuhan biaya berdasarkan SNI 1726-2012 pada portal melintang

Lantai	Frame B					Frame C					Frame D					Grand Total
	Reinforcement	Concrete	Rasio	Harga Sat.	Total Harga	Reinforcement	Concrete	Rasio	Harga Sat.	Total Harga	Reinforcement	Concrete	Rasio	Harga Sat.	Total Harga	
	kg	m3	kg/m3	Rp	Rp	kg	m3	kg/m3	Rp	Rp	kg	m3	kg/m3	Rp	Rp	
Basement	63,80	0,58	110,76	15.291,30	976.000,00	123,48	1,15	107,18	15.291,30	1.889.000,00	63,80	0,58	110,76	15.291,30	976.000,00	3.841.000,00
L. Dasar	61,74	0,58	107,18	15.291,30	945.000,00	121,42	1,15	105,40	15.291,30	1.857.000,00	61,74	0,58	107,18	15.291,30	945.000,00	3.747.000,00
Lantai 1	67,92	0,58	117,92	15.291,30	1.039.000,00	125,54	1,15	108,97	15.291,30	1.920.000,00	67,92	0,58	117,92	15.291,30	1.039.000,00	3.998.000,00
Lantai 2	72,05	0,58	125,08	15.291,30	1.102.000,00	134,28	1,15	116,56	15.291,30	2.054.000,00	72,05	0,58	125,08	15.291,30	1.102.000,00	4.258.000,00
Lantai 3	55,55	0,58	96,44	15.291,30	850.000,00	111,11	1,15	96,45	15.291,30	1.699.000,00	57,61	0,58	100,02	15.291,30	881.000,00	3.430.000,00
Lantai 5	55,55	0,58	96,44	15.291,30	850.000,00	70,52	1,15	61,21	15.291,30	1.079.000,00	55,55	0,58	96,44	15.291,30	850.000,00	2.779.000,00
Lantai 6	57,61	0,58	100,02	15.291,30	881.000,00	121,42	1,15	105,40	15.291,30	1.857.000,00	59,67	0,58	103,60	15.291,30	913.000,00	3.651.000,00
Lantai 7	55,55	0,58	96,44	15.291,30	850.000,00	119,36	1,15	103,61	15.291,30	1.826.000,00	57,61	0,58	100,02	15.291,30	881.000,00	3.557.000,00
Lantai 8	55,55	0,58	96,44	15.291,30	850.000,00	113,67	1,15	98,67	15.291,30	1.739.000,00	55,55	0,58	96,44	15.291,30	850.000,00	3.439.000,00
32.700.000,00																

BIODATA PENULIS



Muchamad Chadaffi, lahir di Surabaya pada tanggal 02 Juli 1992, merupakan anak ke-2 dari tiga bersaudara. Penulis adalah lulusan program studi Diploma III Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember 2013. Pengalaman kerja yang pernah dijalani di PT. Pakuwon



Jati, Tbk (Agustus 2013 – Desember 2015). Kemudian melanjutkan studi Diploma IV Teknik Sipil di Institut Teknologi Sepuluh Nopember tahun 2016. Email yang dapat dihubungi muchamad.its@gmail.com.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

A.1 Data Bor Log



CLIENT:	PROJECT TITLE	: Moya Vidi Condotel
PROJECT CONTRACT NUMBER:	PROJECT LOCATION	: Jl. Magelang 75B Sendangadi, Mlati, Sleman, Yogyakarta
DATE STARTED: 01 Maret 2014	GROUND ELEVATION	: + 20 m from road level
DATE COMPLETED : 01 Maret 2014	HOLE SIZE	: 7.295cm
DRILLING CONTRACTOR: SOIL MECH. LAB. UIY	GROUND WATER LEVEL	: - 9,00 m from ground level
DRILLING METHOD: ROTARY SPINDLE, SKID MOUNTED TYPE	WEATHER CONDITION	: FINE
LOGGED BY: Mukarob, CS.	ESTIMATED SEASONAL HIGH	: -
CHECKED BY: SOIL MECH. LAB. UIY		

Depth (m)	Graph Log	Material Description	Contact Depth (m)	Sample Number	Blow Counts (N Value)				Water Level Elevation (m)	SPT Value																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
					N ₁	N ₂	N ₃	N _v		0	10	20	30	40	50	60																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
1		Pasir halus (coklat, abu-abu)	2						 -9.00	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															</

LAMPIRAN B

BROSUR MATERIAL BANGUNAN

B.1 Dinding Bata Ringan *Citicon*

 Spesifikasi Teknis Bata Ringan Citicon							
Spesifikasi Teknis Bata Ringan Citicon							
Panjang, L (mm)	:	600					
Tinggi, H (mm)	:	200 ; 400					
Tebal, T (mm)	:	75 ; 100 ; 125 ; 150 ; 175 ; 200					
Berat jenis kering, (ρ)	:	530 kg/m ³					
Berat jenis normal, (ρ)	:	600 kg/m ³					
Kuat tekan, (σ)	:	$\geq 4,0$ N/m ²					
Konduktifitas termis, (λ)	:	0.14 w/mk					
Tebal	mm	75	100	125	150	175	200
Luas Dinding / m ²	m ²	13.33	10.00	8.00	6.67	5.71	5.00
Isi / m ³	Blok	111.11	83.33	66.67	55.56	47.62	41.67

B.2 Spesi Dinding dan Keramik

Perata Lantai MU-440



Semen instan untuk pekerjaan perata lantai, menambah ketinggian lantai atau sebagai lantai kerja sebelum pemasangan keramik lantai.

Keunggulan:

- Kuat menahan beban pada permukaan lantai.
- Sangat baik digunakan sebagai dasar lantai kerja pemasangan keramik lantai.
- Dapat diaplikasikan di atas permukaan lantai beton yang terlebih dahulu dilapisi MU-L500 (Perekat Mortar & Beton berbahan Akrolik) atau MU-L501 (Perekat Mortar & Beton berbahan PVA).
- Dapat juga diaplikasikan di atas permukaan tanah yang cukup padat.
- Plastik saat diaplikasikan.
- Dapat menggunakan Silo System untuk kualitas yang lebih baik.

Isi Kemasan:

40 kg dan 50 Kg

Kebutuhan Air:

6,5 - 7,0 liter / sak 50 Kg

Daya Sebar:

$\pm 1,2$ m² / sak 40 kg / tebal aplikasi 20 mm

$\pm 1,5$ m² / sak 50 kg / tebal aplikasi 20 mm



B.3 Keramik *Homogenous Tile*



*The Beauty
With Strength*





*As ancient as a man's desire to build and
linked the creation of the use of STONE*


MS 307 00K
Stone Effect


MS 307 00K
Stone Effect

PACKING LIST & TECHNICAL SPECIFICATION

Packing List

Size (mm)	Thickness (mm)	Per Piece 			Per Carton 			Per Pallet 			Per Container 		
		m ²	kg	pieces	m ²	kg	cartons	pieces	m ²	kg	pallets	pieces	m ³ kg
300 x 300	8.5 ± 0.2	0.0900	1.59	16	1.44	25.44	72	1152	103.68	1861.68	* ±12	13824	1244.16 22340.16

B.4 Floor Hardener

Sikafloor Chapdur®
Coloured Mineral Dry shake Floor Hardener

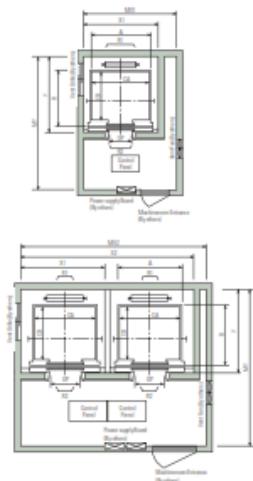
Product Data	
Form	Powder
Colour shades	Grey, Green, Red Minimum quantities of order will be required for other colour shades
Packaging	25 kg bag
Storage	Dry, cool, shaded place
Shelf life	Min. 12 months if stored properly in unopened, original packaging
Technical Data	
Density	~ 1.65 kg/ltr (bulk density of powder)
Consumption	3 - 6 kg per m ² 4 kg/m ² for normal traffic area 5 - 6 kg/m ² for heavy traffic area



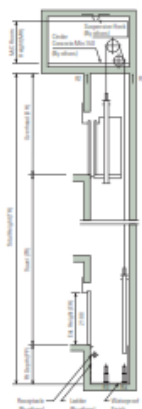
B.5 *Lift*

Layout Plan - LUXEN (Gearless Elevators) 1~2.5m/sec | Center open

Plan of Hoistway & Machine Room



Section of Hoistway

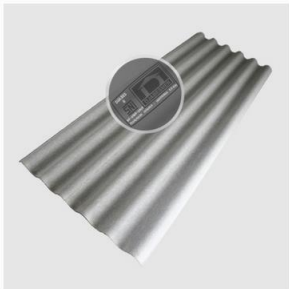


Manufacturer Standard

(Unit : mm)

Speed (m/sec)	Capacity		Opening Type	Clear Opening	Car		Hoistway Size			Machine Room Size			M/C Room Reaction (kg)		Pit Reaction (kg)	
	Persons	kg			Internal	External	1Car	2Cars	Depth	1Car	2Cars	MY	R1	R2	R3	R4
1.0	6	450	2 Panel Center Open	800	1400 x 850	1440 x 1005	1800	3700	1450	2000	4000	3200	3400	2000	5400	4500
	8	550		800	1400 x 1030	1460 x 1185	1800	3700	1650	2000	4000	3400	3650	2250	6000	4900
	9	600		800	1400 x 1130	1460 x 1285	1800	3700	1750	2000	4000	3500	4100	2450	6300	5100
	10	700		800	1400 x 1250	1460 x 1405	1800	3700	1850	2000	4000	3600	4400	2700	6800	5400
	11	750		800	1400 x 1350	1460 x 1505	1800	3700	1950	2000	4000	3700	4550	2800	7100	5600
1.5	13	900		900	1600 x 1350	1660 x 1505	2050	4200	1950	2300	4400	3750	5100	3750	8100	6300
	15	1000		900	1600 x 1500	1660 x 1655	2050	4200	2100	2300	4400	3850	5450	4300	8600	6600
	17	1150		1000	1800 x 1500	1900 x 1670	2350	4800	2200	2600	4600	3900	6400	5100	11000	8700
1.75	20	1350		1100	2000 x 1350	2100 x 1520	2550	5200	2050	2800	5250	3800				
	20	1350		1000	1800 x 1700	1900 x 1870	2350	4800	2400	2600	4900	4200	7800	6000	12200	9500
	20	1350		1100	2000 x 1500	2100 x 1670	2550	5200	2200	2800	5250	4000				
2.0	24	1600		1100	2000 x 1750	2100 x 1920	2550	5200	2450	2900	5400	4300	8500	6800	13600	10400
	13	900		900	2150 x 1600	2250 x 1770	2700	5500	2300	3000	5650	4200				
	15	1000		900	1600 x 1350	1700 x 1520	2250	4600	2100	2550	4600	4250	12030	6650	9000	7500
	15	1000		900	1600 x 1500	1700 x 1670	2250	4600	2250	2550	4600	4250	12860	6950	9400	8000
	17	1150		1000	1800 x 1500	1900 x 1670	2450	5000	2250	2750	5000	4450	13080	7150	11000	8700
2.5	20	1350		1100	2000 x 1350	2100 x 1520	2450	5400	2100	2950	5400	4450				
	20	1350		1000	1800 x 1700	1900 x 1870	2450	5000	2450	2750	5000	4450	14350	7650	12200	9500
	20	1350		1100	2000 x 1500	2100 x 1670	2650	5400	2250	2950	5400	4450				
	24	1600		1100	2000 x 1750	2100 x 1920	2650	5400	2500	2950	5400	4450				
	24	1600		1100	2150 x 1600	2250 x 1770	2800	5700	2350	3100	5700	4600	15100	8100	13600	10400

B.5 Penutup Atap



Djabes 6
Gelombang Besar (B100)

Spesifikasi

- Jumlah Gelombang : 6
- Lebar : 1020mm
- Lebar Terpakai : 900mm
- Panjang Terpakai : minus 150 - 200 mm
- Jarak Gelombang : 180mm
- Tinggi Gelombang : 50mm
- Tebal : 5 mm dan 6 mm

Panjang	Lebar	Tebal	Berat
3000	1020	5	30.06

B.5 Penutup Plafond

Aplikasi plafon rangka kayu

KalsiBoard Ling 3.5®

Informasi umum produk

KALSIBoard Ling 3.5 adalah papan dengan ketebalan 3.5 mm, cocok dipergunakan untuk aplikasi plafon dalam ruangan, diaplikasikan menggunakan paku KALSINails 3-4,5 pada rangka kayu. Sambungan antar papan sebaiknya dibiarkan terbuka (*visible joint*). Kami sarankan untuk tidak menyambung menggunakan kompon dan disekrup pada rangka metal dikarenakan ketebalannya yang hanya 3,5 mm.

KALSIBoard Ling 3.5 merupakan solusi yang tepat guna dan ekonomis untuk menggantikan papan triplek untuk perbaikan plafon dalam bangunan, namun produk ini juga sesuai untuk digunakan untuk pembangunan gedung baru karena kuat dan dapat menghasilkan permukaan yang rata.

KALSIBoard Ling 3.5 memiliki daya tahan yang lebih baik dibandingkan dengan KALSIRata 3 karena dibuat dengan komposisi bahan baku yang lebih berkualitas. Jadi, tidak perlu repot untuk mendapatkan plafon yang rata sempurna! KALSIBoard Ling 3.5 secara kasat mata lebih baik dibandingkan produk sejenis di pasaran! 100% BEBAS ASBES.

Silahkan coba dan Anda akan mengetahui alasan kenapa produk ini menjadi produk nomor satu di pasaran! Pastikan Anda mendapatkan produk KALSIBoard Ling 3.5 yang asli dengan label *printing* KALSIBoard Ling 3.5 yang tercetak pada tiap lembarnya.

Ukuran standar KALSIBoard Ling 3.5

*Berat rata-rata 1 m² adalah 4.8 kg

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)
3.5	1220	2440	14.38
3.5	1200	2400	13.91

“Halaman ini sengaja dikosongkan”